This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

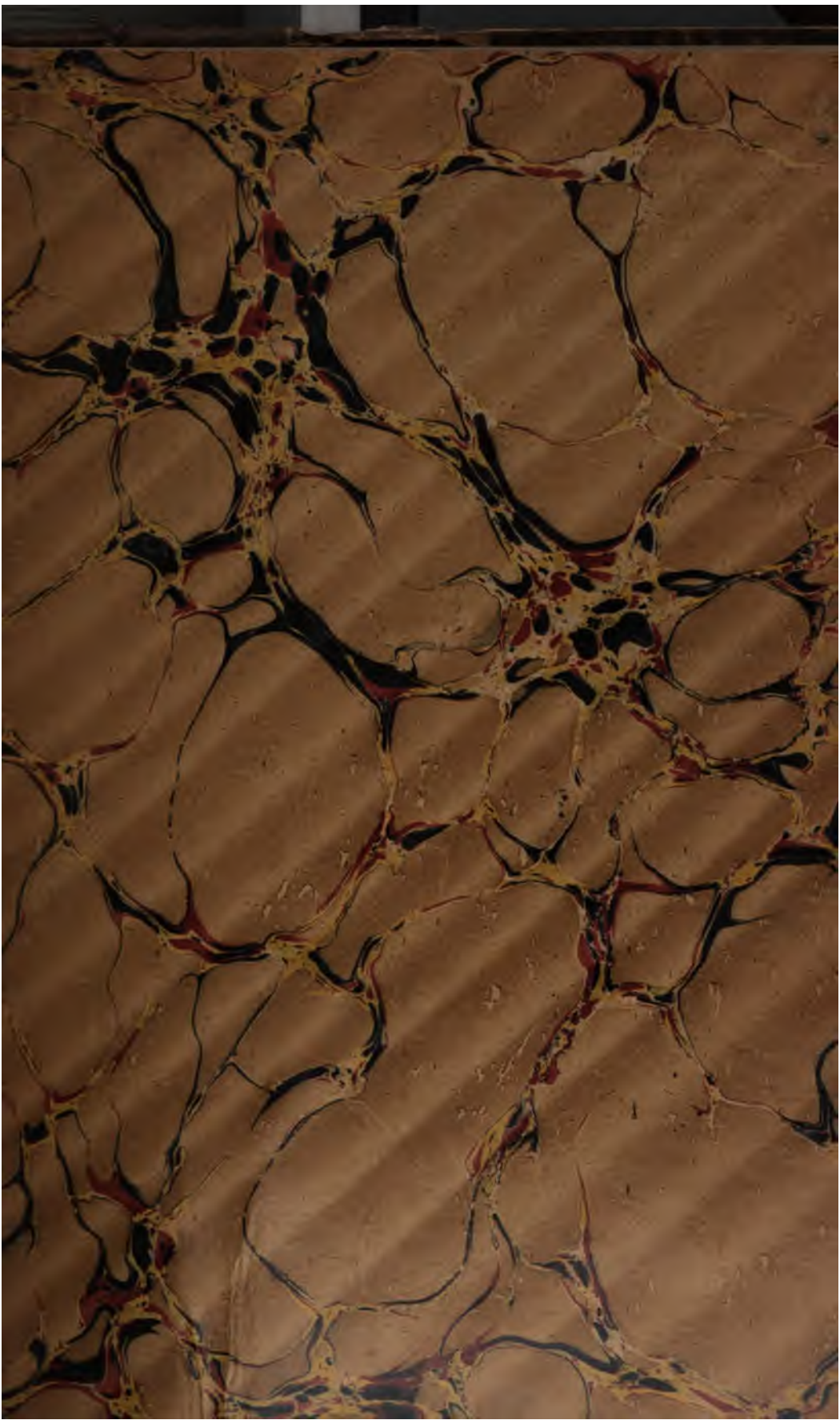
+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

IBRARY OF THE
Stanford Junior University

The Hopkins Library
presented to the
Leland Stanford Junior University
by Timothy Hopkins.



ed 3

TRAITÉ PRATIQUE

DE

L'ÉTABLISSEMENT, DE L'ENTRETIEN & DE L'EXPLOITATION

DES CHEMINS DE FER

PARIS. — IMPRIMERIE E. BERNARD ET Cie

23, RUE DES GRANDS-AUGUSTINS, 23

TRAITÉ PRATIQUE
DE L'ÉTABLISSEMENT
DE L'ENTRETIEN & DE L'EXPLOITATION
DES
CHEMINS DE FER

PAR

CH. GOSCHLER

INGÉNIEUR DE L'ÉCOLE CENTRALE DES ARTS ET MANUFACTURES

et successivement

INGÉNIEUR AUX CHEMINS DE FER D'ALSACE,
INGÉNIEUR PRINCIPAL AUX CHEMINS DE FER DE L'EST,
DIRECTEUR GÉNÉRAL DU CHEMIN DE FER HAINAUT ET FLANDRES,
DIRECTEUR DU CONTROLE
DE LA CONSTRUCTION DES CHEMINS DE FER DE LA TURQUIE D'EUROPE, ETC.

3e Édition, revue, corrigée et augmentée

PAR

P. GUILLEMANT

INGÉNIEUR DE L'ÉCOLE CENTRALE DES ARTS ET MANUFACTURES

et successivement

INGÉNIEUR D'ATELIERS DE CONSTRUCTION DE MATÉRIEL DE CHEMINS DE FER,
INGÉNIEUR DES CHEMINS DE FER DE MAINE-ET-LOIRE ET NANTES,
DE LA BEIRA-ALTA, ET DE SOCIÉTÉS DE CONSTRUCTION DE CHEMINS DE FER, ETC.

Première Partie

SERVICE DE LA VOIE

TOME PREMIER (2e FASCICULE)

PARIS
E. BERNARD ET Cie, IMPRIMEURS-ÉDITEURS
53ter, Quai des Grands-Augustins, 53ter

1894

LIBRARY
UNIVERS
H 4076.
~~A 19002.~~

CHAPITRE VI

MATÉRIEL DE LA VOIE

§ I

Ballast.

151. — **Nature du ballast.** — Le but de l'établissement de la voie dans une couche de ballast est de répartir sur une grande surface la pression que les trains exercent sur les rails; d'amortir les chocs des roues des véhicules; de maintenir les supports des rails (traverses ou longuerines) dans un milieu suffisamment résistant pour conserver à la voie toute la stabilité désirable et de présenter une perméabilité suffisante pour que les influences météoriques exercent le moins d'action possible sur les matériaux qui entrent dans la construction du chemin de fer.

Pour être de bonne qualité le ballast doit donc remplir les conditions suivantes:

1° Se prêter en tout temps au bourrage convenable des supports des rails;

2° Maintenir les supports dans une position déterminée;

3° Présenter quelque mobilité, afin de donner une voie suffisamment élastique;

4° Être perméable aux eaux d'infiltration, tout en pouvant prendre une certaine liaison avec le matériel de la voie;

5° Ne subir aucune altération par l'action des agents atmosphériques.

Il est souvent difficile de trouver un ballast remplissant toutes ces conditions à la fois tout en satisfaisant à la question d'économie, et, pour le rencontrer, on est quelquefois obligé de parcourir de longues distances. Cependant on ne doit pas reculer devant la dépense, pour choisir celui qui répond le mieux au programme.

Un ballast mauvais ou même médiocre, en effet, occasionne des frais d'entretien qui dépassent bientôt la prétendue économie qu'on a cru réaliser en

employant du ballast de mauvaise qualité; l'accélération dans l'altération des traverses, les difficultés d'entretien deviennent tellement sérieuses qu'on est obligé, en dernier ressort, d'enlever le premier ballast et de lui en substituer un autre de bonne qualité. Il vaut donc mieux se résoudre à faire immédiatement la dépense nécessaire lorsqu'elle n'est pas en trop grand désaccord avec l'importance de la ligne.

Le meilleur ballast (surtout pour les voies entièrement métalliques) est formé de graviers moyens mélangés d'une petite quantité d'argile qui donne un certain liant, mais en quantité assez faible pour que l'ensemble soit encore très perméable. Lorsque le ballast contient trop d'argile, il se convertit en boue sous l'action des pluies et donne une très mauvaise voie. Il faut rejeter, par la même raison, les matériaux gélifs, ceux qui se laissent écraser ou réduire en poudre, le sable trop fin.

Le gros sable et le gravier ne se trouvent pas partout, et lorsqu'ils sont trop coûteux, on peut les remplacer par de la pierre cassée : mais on n'obtient ainsi qu'une voie médiocre, les pierres ne prennent pas toujours entre elles une liaison suffisante et les arêtes vives s'appauvrissent rapidement. Les briques et les laitiers concassés donnent une bonne voie, mais sous le rapport de l'entretien, ces matières présentent les mêmes inconvénients que les pierres cassées : il faut ménager dans ces deux cas, à côté de la plate-forme, une banquette pour la circulation des ouvriers et gardes-ligne.

En Angleterre, on a même employé des schistes houillers qui ont fourni une excellente voie, mais il faut qu'ils ne contiennent qu'une très petite quantité de pyrite de fer, autrement ils s'enflammeraient spontanément, par suite de la décomposition des sulfures à l'air libre.

Avec les longuerines ou traverses métalliques le choix du ballast ne saurait être indifférent.

Le ballast calcaire, marneux, argileux, dans les parties humides amène le patinage des machines.

A la Compagnie de l'Est français on s'est résolu à transporter à grande distance (Lunéville à Châlons) du gravier, ballast siliceux, pour recouvrir le ballast qu'on avait à sa disposition et dont la qualité n'avait pas été jugée satisfaisante.

Le ballast est généralement répandu en deux couches, quelquefois composées de matériaux différents, lorsque l'on veut économiser la consommation du ballast de meilleure qualité. On peut employer, par exemple, pour la couche inférieure, du sable fin, et, pour la deuxième, du sable plus gros, ou bien encore, pour la première couche, des pierres gélives, qu'on ne pourrait

employer autrement et qu'on recouvre d'une couche suffisante de bons matériaux pour les préserver de la gelée.

Ainsi, au chemin de fer du Nord on a formé, sur certains points, la couche inférieure avec la craie gélive et la couche supérieure au moyen de gros sable; on a ainsi obtenu de bons résultats, tout en réduisant l'emploi de cette dernière matière.

Sur les chemins bavarois, on a employé des graviers quartzeux et des pierres non gélives, n'ayant pas plus de $0^m,045$ de diamètre, mélangés avec du sable grossier pur ou renfermant très peu d'argile. Dans certains cas, on a obtenu un bon ballast et économisé le sable, en couvrant d'abord la plate-forme d'un blocage de $0^m,15$ à $0^m,20$ d'épaisseur, puis d'une couche de pierres passées à l'anneau de $0^m,05$ mélangée d'environ un tiers de sable; mais le mélange de deux matières différentes n'est pas toujours bon.

Quelques chemins prussiens ont été ballastés avec de gros graviers débarrassés de terre et d'argile et de dimensions aussi uniformes que possible pour la couche inférieure.

En Italie certains chemins économiques établis sur route ont sans inconvénients employé pour ballaster la voie, les matériaux retirés de la chaussée composés de graviers de toutes dimensions.

Les graviers de ruisseaux et de rivières sont les meilleurs, parce qu'ils sont lavés et n'ont pas besoin d'être passés au crible. Du reste, on ne pratique que rarement cette opération, parce qu'elle est trop coûteuse. On emploie quelquefois le sable, mais il faut qu'il soit aussi gros que possible et non terreux. Pour la seconde couche, c'est-à-dire pour le bourrage et le remplissage, on a employé, au contraire, du gravier et du gros sable mélangés de parties terreuses ou argileuses. Ils se bourrent mieux que le sable et le gravier de rivière, tout à fait secs et rugueux. Une matière dont chaque grain est entouré naturellement d'une gangue argileuse, donne de meilleurs résultats qu'un mélange d'argile avec des matériaux plus purs.

Quand on n'a que des pierres cassées pour former la couche inférieure, on donne la préférence aux pierres qui ne présentent pas un degré de dureté trop prononcé; ces dernières altèrent moins les arêtes des traverses et se prêtent mieux à la formation des couches. Dans la traversée des Vosges, le chemin de fer de Strasbourg a été ballasté avec du grès concassé; à ciel ouvert, la voie ainsi ballastée, se comporte assez bien, quand l'entretien est fait avec soin; mais, dans les tunnels humides, les pierres se réduisent en masse pâteuse, qui empêche de conserver à la voie une assiette convenable (215).

Le prix de revient détermine souvent le choix du ballast; mais, comme

nous l'avons dit, l'emploi du ballast médiocre n'est admissible que lorsqu'il est impossible de faire autrement.

Les Compagnies dont le trafic est important, qui mettent en circulation des trains à grande vitesse s'efforcent d'obtenir une voie aussi solide que bien assise et le ballast est l'objet de soins particuliers.

Dans le but d'obtenir des matériaux de mêmes dimensions, les Compagnies d'Orléans, de Paris-Lyon, les chemins de fer de l'Etat emploient le crible de M. Lachèze qui est constitué par un cylindre cribleur de $1^m,10$ de longueur, et $0^m,50$ de diamètre reposant sur un bâti monté sur deux essieux.

Les matériaux sont jetés dans une trémie supérieure qui les conduit dans le cylindre mû par un homme, les déchets sont rejetés hors la voie tandis que le ballast sortant à l'extrémité inférieure du cylindre se répand entièrement sur la voie.

Lorsque le ballast se compose de gravier et de sable de rivière ou de carrière on espace les barreaux de $0^m,012$. Avec la pierre cassée cet espacement varie de 16 à 18 millimètres.

Nous avons vu (149) comment on procède pour réduire le cube de ballast quand le prix en est élevé.

152. — Approvisionnement du ballast. — Dès que le tracé du chemin de fer est arrêté, l'ingénieur doit se préoccuper des approvisionnements de ballast. L'importance de cette question n'a pas besoin de démonstration, car il faut encore que le ballast présentant les qualités requises se rencontre en quantités suffisantes, sur des points rapprochés de la ligne et accessibles au matériel de transport.

Le ballast provient d'abord et tout naturellement des tranchées du chemin, puis des minières (ballastières) à portée de la ligne, des rivières, des carrières dont on extrait les matériaux de construction, enfin des dépôts de produits de mines ou d'usines. Quelquefois, le ballast est fourni à la Compagnie par un entrepreneur, il est transporté suivant les cas, soit au tombereau, soit au vagon, sur voies provisoires. Le cahier des charges règle alors les obligations respectives de la Compagnie et de l'entrepreneur. Autant que possible, il faut éviter de prêter à l'entrepreneur, pour former ses voies de service, les matériaux qui doivent entrer dans les voies définitives, car cet emploi est en général très préjudiciable à leur conservation (161).

Le ballast doit toujours présenter exactement sur toute la ligne le profil extérieur déterminé, non-seulement au moment de la réception provisoire, mais encore à l'époque de la réception définitive. On devra donc faire une

provision suffisante de ballast pour que la voie puisse être maintenue à la hauteur fixée par le profil en long.

Pour tous les travaux de construction et d'entretien, le ballast est déchargé sur les accotements dans l'entrevoie et même entre les rails. Il faut donner à ces dépôts des dimensions telles qu'ils n'atteignent pas le matériel de transport et ne gênent en rien la circulation.

En général, les dépôts de ballast, entre les rails doivent être distants d'au moins $0^m,20$ des rails, et ne pas dépasser $0^m,10$ de hauteur (fig. 212). Sur les accotements et dans l'entrevoie, on place les dépôts à une distance d'au moins $0^m,25$ et de façon que l'inclinaison des talus du côté des rails ne dépasse pas 45°.

Fig. 212. — Dépôts de ballast sur la voie (1/100).

Le ballast employé pour la construction d'une nouvelle ligne est généralement cubé en œuvre, au moment de la réception provisoire, d'après les dimensions des couches qui le composent. On détermine l'épaisseur moyenne de ces couches au moyen de sondages.

Dans certains cas, le volume des traverses, compté à raison de 1 m. cube pour 10 traverses, est déduit du cube total. Sur d'autres lignes, cette déduction n'a pas été faite, le volume des traverses étant considéré comme formant compensation avec le déchet du ballast sur la plate-forme. Si le ballast est d'un prix élevé, cette concession ne laisse pas d'être importante.

Le ballast destiné à l'entretien de la ligne est approvisionné et déposé en tas sur divers points du chemin, hors de la voie. On donne à ces tas une forme déterminée et géométrique, permettant de les cuber facilement. On peut se servir, pour la mise en tas, de caisses analogues à celles que l'on emploie pour les matériaux destinés à l'entretien des routes.

On peut aussi faire les tas sans caisse et en régler seulement les dimensions au moyen de cerces.

Les prix de transport de ballast sont déterminés comme pour les terrassements et par des formules analogues. — Annexes... M, N, O.

Selon les difficultés d'extraction et la distance de transport, le prix de revient du ballast, rendu sur la voie, peut varier entre 2 et 8 francs le mètre cube [1].

(1) En Ecosse le travail du ballastage fait généralement partie de l'entreprise des travaux. M. Bergeron dans une notice très intéressante sur les che-

§ II

Supports des rails.

153. — Dés en pierre. — Les *dés en pierre* qui ont été généralement employés à l'origine des chemins de fer, pour supporter les rails, ne se rencontrent plus aujourd'hui que sur un petit nombre de lignes qui va toujours en s'affaiblissant.

Ils transmettent la pression des trains sur une surface insuffisante, parce que généralement on ne leur donne pas d'assez fortes dimensions. Quand l'assiette n'est pas suffisamment large et résistante, l'emploi des dés en pierre est plus ou moins nuisible à la conservation des rails et du matériel roulant, et incommode aux voyageurs, malgré l'interposition entre le rail et le coussinet ou entre le coussinet et la pierre, de certains corps élastiques, tels que bois, carton, feutre goudronné, etc. Par contre, les dés présentant plus de durée que les supports en bois, il est possible qu'il y ait avantage à les employer dans les contrées pauvres en bois, et où les traverses métalliques ou en bois deviendraient beaucoup trop coûteuses.

Les dés sont à base carrée au rectangulaire de $0^m,50$ à $0^m,75$ de côté (fig. 147); on leur a donné de $0^m,25$ à $0^m,40$ d'épaisseur, en les espaçant de 1 mètre à $1^m,25$ d'axe en axe. Les dés de joint sont le plus souvent rectangulaires, et leur longueur atteint $0^m,90$.

Les dés ont été posés de diverses manières : soit comme on l'a fait d'abord,

mins de fer à bon marché fait ressortir comme suit tous les avantages qu'il y a sous le rapport de l'économie à réunir les deux entreprises.

« On demandait un jour à M. Betts, entrepreneur anglais, quel est le meilleur ballast à employer sur le chemin de fer ? C'est celui que l'on trouve sur place répondit-il. Cette maxime qui n'est pas vraie pour l'espèce ou la qualité du ballast est essentiellement juste pour l'économie de la dépense. Les constructeurs des chemins écossais la pratiquent avec le plus grand soin. Si une tranchée présente des déblais d'une nature favorable, ils ne se font pas faute d'abaisser la plate-forme du chemin, d'élargir la tranchée et de modifier le profil pour se servir comme ballast de tout l'excédant des déblais. La voie de fer posée définitivement sert à les transporter au loin par locomotives, et il arrive souvent que le chemin est ballasté et prêt à être livré à l'exploitation dès que les autres travaux d'art et de terrassement ont été achevés.

« On comprend combien ce système est plus économique que le nôtre, en France, où par suite d'un usage résultant de l'application de la loi de 1842, la pose et le ballastage de la voie ne commencent qu'après la réception des travaux et la livraison de la plate-forme à son profil définitif.

parallèlement à l'axe de la voie, soit en diagonale, ce qui en rend le relevage plus facile et assure plus efficacement l'assiette contre le renversement : sur le chemin de Bolton, chaque voie était placée pour ainsi dire sur deux murs formés par des dés contigus. Ce chemin trop dur fut bientôt détruit. Le chemin de Londres-Birmingham a employé les dés simplement posés sur une couche de ballast répandue uniformément sur toute la plate-forme, puis noyés dans une seconde couche de ballast parfaitement bourrée autour de leurs faces.

Sur les chemins badois, ils sont en outre supportés par un pavage recouvert d'une petite couche de pierres cassées (fig. 213), sur le chemin Wurtembourgeois par une couche de béton.

Le rail ne repose pas toujours directement sur la pierre, mais bien sur une petite longuerine ou plus simplement sur une plaquette en chêne de 15 à 20 millimètres d'épaisseur logée dans une entaille pratiquée à la couronne du dé (fig. 148).

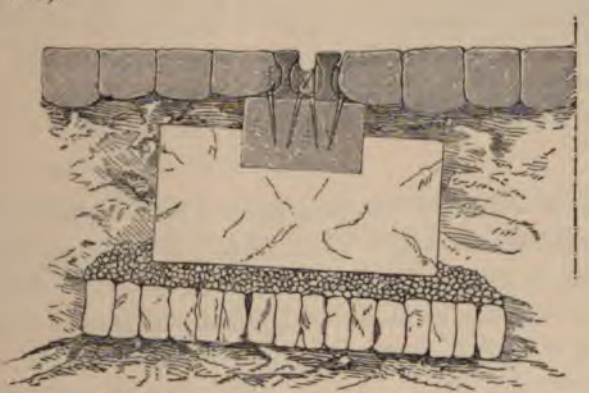


Fig. 213 — Dés de la voie badoise (1/20).

En 1854-1855, on a posé, sur le chemin de Bade, à titre d'essai et pour diminuer la consommation des bois, plusieurs lieues de voie sur des supports de la première espèce, mais les résultats n'ont pas été satisfaisants. Par contre, les essais du Wurtemberg et ceux du Taunus ont bien réussi.

Suivant leur forme, on fixe les rails sur les dés, soit directement, soit par l'intermédiaire de coussinets ; les chevilles et tire-fond ont été enfoncés tantôt dans la pierre, tantôt dans un goujon en bois de $0^m,035$ à $0^m,040$ préalablement chassé dans le dé, tantôt enfin, à travers un petit madrier en bois de $0^m,15$ d'épaisseur placé dans une entaille pratiquée sur le dé. Pour prévenir la dislocation de l'attache, le chemin du Wurtemberg faisait traverser d'outre en outre les boulons à écrous ; les deux extrémités du bas sont réunies par une clavette commune.

Bien que de longue durée, les dés en pierre peuvent devenir assez coûteux; leur pose et leur entretien demandent beaucoup de soins. Lorsque la pierre n'est pas de très-bonne qualité, les blocs se fendent sous l'action des chevilles en fer dont l'emploi combiné est nécessaire pour fixer les rails. Lorsque la pierre est tendre, quoique douée d'une grande tenacité, les fers posés directement sur la pierre la creusent à la longue et s'y incrustent en quelque sorte, ce qui exige un fréquent remaniement des attaches.

Cet inconvénient disparaît avec le système du Taunus, et, comme nous l'avons vu, quelques chemins peuvent trouver avantage à se servir de dés.

Voici le prix de revient comparatif de l'établissement de la voie — 6 mètres — sur dés et sur traverses en chêne au chemin du Taunus :

10 dés percés et rendus sur place à. . . .	3fr84 =	38fr40	
10 languettes de bois préparées	0.44	4.40	
20 chevilles en bois, le mille à	41.55	0.84	
20 clous en fer, le mille à.	83.10	1.66	
			45fr30
7 traverses en chêne préparées à la créosote. .	7.15	50.05	
32 crampons, le mille à.	85.10	2.70	
			52.75

On se sert pour forer les trous dans les dés d'une machine à percer. Quant à la nature minéralogique de la pierre, elle paraît être indifférente : granit, grès, calcaire, dolomie, schiste compacte, toutes ces roches conviennent, à la condition d'offrir une résistance suffisante à l'écrasement et aux actions météoriques.

154. — Traverses en bois. — L'inégalité dans la durée souvent faible des supports en bois, traverses ou longuerines, et les frais occasionnés par la nécessité de les renouveler à des intervalles assez rapprochés, constituent le principal inconvénient de ce mode d'établissement de la voie. Il est donc convenable de choisir des bois parfaitement sains et d'essences susceptibles de se conserver aussi longtemps que possible. Cette dernière condition est quelquefois difficile à remplir dans certaines localités, mais elle a pris moins d'importance depuis l'application des divers procédés de conservation des bois (198 et suivants).

En Angleterre et en Allemagne, on a d'abord employé le pin. Ce bois, quand il est bien résineux, dure assez longtemps; le mélèze, par exemple, a duré jusqu'à douze ans; dans le cas contraire, le sapin ne dure pas plus de trois ans, aussi ne l'emploie-t-on plus guère que préparé et encore ne con-

vient-il que sur les voies à faible trafic, car son tissu lâche ne résiste pas longtemps à l'action des rails et de leurs attaches.

Les ingénieurs français et belges donnent la préférence au chêne, malgré son prix élevé, parce que, de toutes les essences, c'est celle qui se conserve le mieux sans préparation. Cependant le hêtre (fagus sylvatica), et le pin (pinus sylvestris), tendent à être employés de plus en plus, grâce aux perfectionnements apportés à la préparation des bois. Leur application à la voie des chemins de fer a permis de maintenir le prix du chêne dans certaines limites.

Ainsi, en France, dans le remplacement courant des traverses de la voie des sept grands réseaux, la proportion moyenne des différentes essences employées s'établit comme suit :

66 pour cent en chêne;
22 — en hêtre;
12 — en pin-sapin.

Quels que soient les bois employés pour la fabrication des traverses, ceux affectés de piqûres, pourritures, malandres, fentes de grandes dimensions, gerçures, gélivures, cadranures, roulures, nœuds vicieux et autres défauts, ne peuvent être que d'un mauvais usage, et il convient de les rejeter. Il est facile de reconnaître ces différents défauts.

Les piqûres sont de petits trous ou galeries produits par des insectes également spéciaux à chaque essence. On trouvera dans l'ouvrage de M. du Breuil, que nous avons déjà cité, la description de ces insectes, et des moyens plus ou moins efficaces employés à leur destruction. Toutes les espèces ligneuses ne sont pas également exposées à l'attaque des insectes. Ainsi, parmi les bois exploités pour les traverses, le chêne, le pin et le sapin souffrent beaucoup plus de leurs atteintes que le platane, le hêtre, le charme et le mélèze.

La pourriture est une altération des matières azotées renfermées dans les couches ligneuses, sous l'action des influences atmosphériques, et particulièrement des eaux de pluie pénétrant dans l'intérieur des arbres par des plaies ou des fentes. Cette altération se produit également sur des arbres morts ou des branches mortes, soit par l'envahissement des insectes, soit par le développement de diverses végétations cryptogamiques. Les bois, sous l'action d'une trop grande sécheresse, par exemple les traverses dans les souterrains, subissent également ce dernier mode d'altération, qu'on appelle *pourriture sèche.*

Les *malandres* sont des défectuosités amenées par des nœuds pourris qui atteignent des portions de moelle ou du cœur.

Les *fentes* (C, fig. 214), *roulures*, *gerçures*, *gélivures* et *cadranures* sont des solutions de continuités produites le plus souvent par la gelée, mais quelquefois aussi par une trop grande sécheresse.

Les *roulures* sont des fentes circulaires (B, fig. 215) provenant de la désorganisation d'une couche ligneuse sous l'action de gelées tardives, survenues par exemple au mois de mai de l'année de la formation de la couche.

Fig. 214.
Bois atteint de gélivure et de cadranure.

Fig. 215.
Bois atteint de roulure.

Lorsque les troncs renferment beaucoup d'humidité, et qu'un grand abaissement de température se produit subitement, il se manifeste, dans toute l'épaisseur des corps ligneux, des fentes longitudinales qui prennent le nom de *cadranure*, lorsqu'elles se dirigent du centre vers la circonférence, et, celui de *gélivure*, de la circonférence vers le centre (fig. 214).

Il est quelquefois difficile de distinguer ces deux cas; aussi sont-ils souvent confondus sous l'une ou l'autre de ces deux dénominations.

Les *nœuds vicieux* sont ceux qui présentent des solutions de continuité assez profondes pour faire craindre la rupture des bois ou une prompte altération. Quand les nœuds pourris ne pénètrent pas trop avant dans le bois, ils peuvent être tolérés, à la condition que l'on puisse les purger des parties pourries.

Tous les bois, en général, doivent être entièrement dépouillés de leur écorce. Cependant, les billes préparées par le procédé Boucherie peuvent la conserver sans inconvénient, parce que l'écorce, pénétrée de sulfate de cuivre, a perdu ses tendances ordinaires à la pourriture.

Les bois de chêne durs, à fibres très serrées, provenant de terrains élevés, secs, de composition silicéo-argilo-calcaire, sont préférés à ceux qui croissent sur un sol gras et humide.

Le chêne ne doit être abattu qu'en bonne saison, c'est-à-dire du 15 octo-

bre au 15 mars; il faut en interdire l'emploi avant une année de coupe au moins.

Il arrive fréquemment que les traverses, soit avant, soit après la réception, se fendent sous l'action du soleil, et surtout des vents du printemps. Nous verrons (159) comment on remédie en partie à cet inconvénient, et notamment par le mode d'empilage usité dans les dépôts du chemin de fer de l'Est. Quand la fente ne passe pas d'une face à l'autre, et ne présente pas une grande longueur, la traverse peut encore être utilisée, si on l'arme d'un boulon de $0^m,008$ à $0^m,012$, selon la force du bois.

On emploie quelquefois des S en fer pour arrêter les progrès des fentes, mais généralement ce moyen est insuffisant, et, quand on ne veut pas boulonner la bille, il vaut encore mieux clouer sur la section des plaquettes en tôle, ou simplement des planchettes en bois. Une traverse, fendue sur toute son épaisseur, ne peut pas faire un bon service, et doit être rejetée.

Les observations faites jusqu'à ce jour permettent d'évaluer à douze, quinze et dix-huit ans, en moyenne, selon la qualité du ballast, la durée des traverses en chêne de bonne qualité, dépourvues d'aubier, sans préparation, enfouies dans un ballast sec, et formé, autant que possible, de gravier sablonneux.

La durée des traverses en hêtre, en sapin non préparés, ne dépasse guère trois à quatre ans; mais on peut admettre maintenant que, grâce aux divers procédés employés pour la conservation des bois (chap. VII, § 1), que ces traverses peuvent durer au moins aussi longtemps que les traverses en chêne sur lesquelles, d'ailleurs, la préparation a aussi une certaine influence.

Le Ministère de la Marine, en France, a fait quelques tentatives d'introduction des bois de la Guyane. Il a livré quelques échantillons de traverses au prix de 83 fr. 09 le mètre cube; la traverse cubant 80 décimètres cubes le prix de chaque pièce revient à 6 fr. 65, en y comprenant 4 % de frais de manutention.

Voici les noms et la teinte des différents bois importés :

Noms	Teintes
Angélique	Violet cendré.
Bagas	Violet
Cèdre	Jaune
»	Noir
»	Gris
Balata	Blanc
»	Franc rouge
Parcoury	Jaune

A cette époque, les traverses en chêne de Russie revenaient au port français à 5 fr. 30, plus 4 %, et celles de France coûtaient en moyenne 5 fr. 94, plus 1 % de frais de manutention.

155. — Formes des traverses en bois. — Le but à atteindre est d'obtenir une surface d'appui suffisante pour que les roues les plus fortement chargées trouvent sur la traverse une base correspondant à une pression maxima de 2 kil. 5 à 2 kil. 8 (Lyon) par centimètre carré de bois utilement chargé, et, comme on ne peut compter que sur 2 mètres au plus de charge dans la longueur d'une traverse, la partie médiane n'étant pas bourrée, ainsi que les extrémités, il s'ensuit que la largeur des traverses doit être calculée pour que la pression ne dépasse pas le maximum indiqué plus haut.

Les traverses en billes, placées sur les extrémités des rails, aux joints, sont exposées à un ébranlement plus grand que celles disposées sur le reste de la longueur; aussi la section des premières doit-elle être un peu plus forte que celle des secondes. On divise donc les traverses en deux catégories : traverses de joints, traverses intermédiaires. Sous le rapport de la forme de la section, les billes reçoivent également diverses dénominations; on les classe en traverses équarries, demi-rondes, mixtes, triangulaires.

Cette distinction entre les traverses de joints et intermédiaires disparaît quand les abouts des rails tombent en porte-à-faux.

Les *traverses équarries* ont leurs faces larges dressées à la scie et les faces latérales abattues à la scie ou à la cognée; la face inférieure, celle qui repose sur le ballast doit être à vive arête et sans aubier; on peut tolérer des flaches ou de l'aubier sur l'autre face, pourvu qu'elle n'en soit pas affectée sur plus de $0^m,05$ de largeur. Il n'est pas prudent d'admettre parmi les traverses équarries, celles qui, tout en présentant deux faces de sciage et deux faces dressées à la cognée, proviennent de jeunes arbres ou de branches moyennes. Ces billes qui, dans le commerce portent le nom de traverses de *brin* ou d'*une*, possèdent un bois incomplètement formé. Après quelques années de séjour sur la voie, elles se transforment en rondins, par suite de la disparition, sur toutes les faces de ces traverses, de l'aubier et des jeunes couches de ligneux qui n'ont pu supporter l'action de l'atmosphère et le travail du bourrage.

Les *traverses demi-rondes* proviennent généralement de troncs d'arbres fendus en deux à la scie. Leur épaisseur est donc à peu près égale à la moitié de leur largeur; cependant il n'en est pas toujours ainsi, et l'on a néanmoins conservé la dénomination de demi-ronde à toute traverse dont la sec-

tion est formée par un segment de cercle. Les traverses demi-rondes en bois de chêne sont, la plupart du temps, dépouillées de leur écorce; l'aubier n'est toléré que sur $0^m,025$ d'épaisseur. Ces traverses ne font pas un aussi bon service que les traverses équarries, car leur destruction est plus rapide, et leur face de pose plus susceptible de détérioration sous l'action du bourrage ; aussi dans la rédaction d'un marché est-il prudent de stipuler que la quantité de traverses demi-rondes, si on les admet pour faire baisser le prix de la fourniture ne dépassera pas une proportion fixée à l'avance.

Nous désignons par *traverses mixtes* celles dont le périmètre de la section est formé par deux ou trois lignes droites et deux ou une ligne courbe.

Les formes qui peuvent résulter de toutes ces combinaisons varient avec le mode de débitage employé. Elles sont indiquées sur la figure 216 (page 368) par des tracés qui représentent le débitage le plus avantageux des billes selon leur diamètre. Les formes M, N, O, Q, se débitent rarement dans le chêne, parce que, dans ces grandes dimensions, cette essence est utilisée comme bois de marine et coûte très cher. Cependant on en trouve un certain nombre dans les livraisons, quand le fournisseur ne peut pas faire un meilleur emploi de ses bois.

Les traverses triangulaires P ont été fréquemment employées dans les pays qui, comme l'Angleterre, sont dépourvus de bois de chêne.

On les tirait de poutres de sapin du Nord, sciées suivant une ou deux diagonales, selon leur grosseur ; mais ces traverses ne donnent pas une voie bien assise et d'un entretien facile ; aussi l'usage ne s'en est-il pas propagé.

Autant que possible, il ne faut employer que des traverses droites sur toutes leurs faces ; on tolère néanmoins une légère courbure quand elle ne peut pas compromettre la stabilité de la bille, ce dont on est assuré quand la ligne qui joint les centres des appuis des rails se trouve tout entière comprise dans la projection horizontale de la traverse.

Nous avons parlé plus haut des mouvements que les trains impriment aux traverses dans la direction de l'axe de la voie ou perpendiculairement à cet axe. Remarquons que les traverses équarries, avec leurs faces verticales, s'opposent davantage à ces deux mouvements que les traverses demi-rondes. Il faudra donc, autant que possible, leur donner la préférence. On emploie souvent des traverses à deux faces de sciage et une face circulaire, L (fig. 216) ; dans ce cas, on devra toujours poser les traverses de manière que le ballast contre lequel doit s'appuyer la face verticale fasse opposition à leur mouvement dans le sens de la marche des trains, sur les lignes à deux voies ; sur les chemins à voie unique on alternera l'orientation des traverses de cette forme, afin d'empêcher le mouvement, dans un sens comme dans l'autre.

DÉSIGNATION DES CHEMINS DE FER	NATURE DES TRAVERSES		LONGUEUR Minimum	LONGUEUR Maximum
FRANCE				
Nord (1864)	Chêne	5/6 1/6	250	260
	Hêtre préparé	96/100 4/100		
Est	Chêne, hêtre ou charme préparé (1863)	joint interm.	255	275
Midi	Sapin préparé	9/10 1/10	265	275
	Chêne	joint interm.	270	
Ouest	Hêtre préparé	joint interm.		
Lyon	Chêne	joint interm.	275	
	Hêtre préparé	joint interm.		
Angleterre	Sapin du Nord		275	300
Ecosse	Sapin du Nord		270	
Belgique	Chêne ou hêtre préparé	joint 1/6 interm. 4/6 interm. 1/6	250	270
Bavière	Chêne	joint interm.	260	
Saxe	Chêne, pin préparé	joint interm.	233	
Prusse	Chêne, pin préparé	joint interm.	280 250	
Central Suisse	Chêne écorcé sans aubier	joint interm.	240	
Etat Français	Chêne	interm. joint	250	275
Thessalie	Chêne rouvre de Dalmatie		180	

TRAVERSES ÉQUARRIES					TRAVERSES DEMI-RONDES				
ROFILS	LARGEUR INFÉRIEURE		ÉPAISSEUR		PROFILS	LARGEUR INFÉRIEURE		ÉPAISSEUR	
	minim.	maxim.	minim.	maxim.		minim.	maxim.	minim.	maxim.
. . . .	24	30	12	14					
. . . .	22	23	12	14	F, L	26	32	13	16
M, N, O.	24	30	12	14					
M, N, O.	22	23	12	14					
I, M, N, O.	27	30	13	16	F, H, L. . .	32	36	14	18
I, M, N, O.	21	26	13	16	F, H, L. . .	26	31	14	18
					F	26	32	13	16
					E	22	23	12	14
N. . .	30		14						
N. . .	21		14						
N. . .	30		14						
N. . .	21		14		F	29		14,5	
. . .	21,5		14,5		J	26		14,5	
					K	24		14,5	
N. . .	30	40	15	16					
N. . .	20	25	15	16					
N. . .	30		15	16	B, F, H. . .	30		18	
N. . .	20		15	16	B, F, H. . .	20		16	
	30		15						
. . .	26	28	14			30		15	
	22	24	12	14		24	28	12	14
						18	20	12	14
	32	28	14	15					
	22		14	15					
	40		15	17					
. . .	27		15	17					
	30	37	15	18					
	23	21	13	15					
	30		15						
. . .	24		15						
	20	24	12	16					
N. . .	30	34	12	16		20	35	12	18
. . .	15	20	12						

156. — Dimensions des traverses en bois. — Le tableau ci-contre indique les dimensions des traverses employées sur divers chemins de fer français et étrangers. (Les lettres de la colonne *profils* se rapportent aux diverses sections de bois représentées par la figure 216).

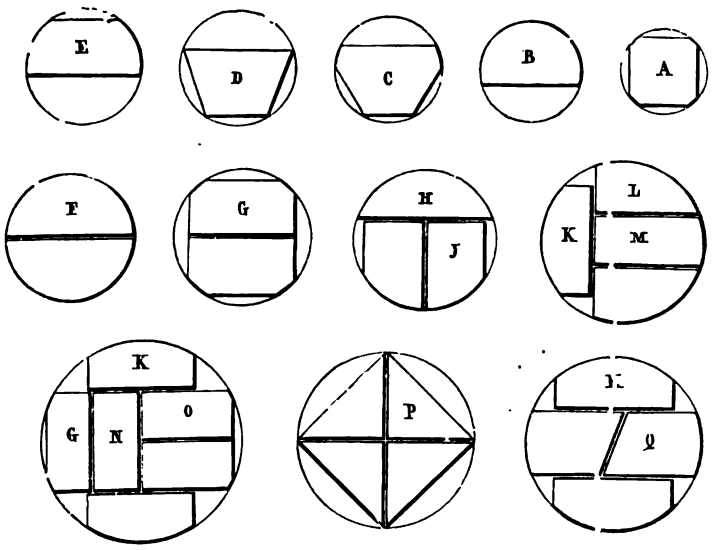


Fig. 216. — Formes des traverses et débitage des billes (1/20).

157. — Mesurage des traverses. — Les traverses sont mesurées au moment de la réception, et payées tantôt d'après leur volume, tantôt suivant un prix convenu pour chaque espèce, dont les dimensions minima sont indiquées au marché. S'il s'agit de bois préparés, le mesurage des traverses se fait après l'injection et au moment de la réception provisoire. Les dimensions de chaque traverse sont inscrites sur un carnet, avec l'indication de sa forme et de sa section. L'agent réceptionnaire doit alors, chaque soir, dresser contradictoirement avec l'entrepreneur le cube de chaque traverse, d'après un barême convenu entre l'Administration du chemin de fer et le fournisseur.

Le carnet de réception employé sur la ligne du Nord a la forme suivante :

DATES des RÉCEPTIONS	N° d'ordre	DIMENSIONS			CUBE DES TRAVERSES			
		Longueur	Largeur	Epaisseur	Rectangulaires	Demi-rondes	à 2 faces de sciage et une circulaire	à 3 faces de sciage et une circulaire

Les traverses équarries se cubent généralement pour ce qu'elles sont, en comptant de 5 en 5 centimètres pour les longueurs et de centimètre en centimètre pour les largeurs et les épaisseurs. Toute fraction inférieure à $0^m,05$ pour les longueurs, et à $0^m,01$ pour les largeurs et épaisseurs, n'est pas comptée. Le cahier des charges fixe d'ailleurs un cube minimum et un cube maximum quand les traverses sont payées au volume. Les traverses qui, par la combinaison de leurs dimensions, présentent un cube inférieur au minimum stipulé, sont rejetées ; celles dont le cube est supérieur au maximum ne sont comptées que pour ce maximum, on défalque du produit obtenu le cube de l'aubier, quand son épaisseur n'est pas dans les conditions de tolérance.

La longueur des traverses se mesure au moyen d'une règle en bois divisée en mètres, décimètres et demi-décimètres, portant à l'une de ses extrémités un talon en fer avec retour d'équerre. Les largeurs et épaisseurs des traverses équarries se mesurent avec l'équerre à deux branches inégales divisées en centimètres.

En nous reportant à la figure 216 on cubera comme traverses équarries celles représentant les formes, A, G, M, N, O, en appliquant la formule $V = L\,l\,e$, dans laquelle L représente la longueur, l la largeur de la base inférieure et, e l'épaisseur de la traverse. On pourra cuber de la même manière les traverses ayant la forme K, en prenant pour épaisseur une moyenne entre l'épaisseur dans l'axe et la hauteur des faces latérales, et les traverses

de forme, C, D, E, J, Q, en prenant pour chaque largeur la moyenne des largeurs des faces supérieures et inférieures.

Les traverses demi-rondes sont évaluées d'après l'un des modes de cubage employés dans le commerce des bois en grume et qui peuvent se résumer ainsi :

1. Pour faire ce qu'on appelle le *cubage au tiers de la circonférence sans déduction*, on prend le tiers de la *circonférence moyenne*, C, du corps de l'arbre, c'est-à-dire mesurée au milieu de la longueur de la bille ; on multiplie cette quantité par elle-même, et le résultat par la longueur de l'arbre :

$$V = \left(\frac{1}{3} C\right)^2 L$$

Une traverse demi-ronde de même longueur, aurait pour volume la moitié de celui de cette bille, soit:

$$V = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{3} C\right)^2 L.$$

Ce mode est peu usité parce qu'il donne un produit supérieur au volume réel.

II. — *Le cubage au quart de la circonférence* se fait en élevant au carré le quart de la circonférence moyenne et en multipliant le résultat par la longueur de la bille :

$$V = \left(\frac{1}{4} C\right)^2 L$$

C'est un mode que l'on a souvent employé pour les traverses demi-rondes :

$$V = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{4} C\right)^2 L$$

III. — *Le cubage au sixième déduit*, consiste à déduire 1/6 de la circonférence, et à multiplier le quart de la différence par lui-même, et le produit par la longueur. On a ainsi :

$$V = \left(\frac{C - \frac{1}{6} C}{4}\right)^2 L$$

Le cube des traverses demi-rondes livrées sur cette base sera :

$$V = \frac{1}{2}\left(\frac{C - \frac{1}{6}C}{4}\right)^2 L = \frac{1}{2}\left(\frac{5}{24}C\right)^2 L$$

IV. — Enfin un dernier mode de cubage usité est celui dit au *cinquième déduit*, analogue au précédent :

$$V = \left(\frac{C - \frac{1}{5}C}{4}\right)^2 L = \left(\frac{1}{5}C\right)^2 L$$

On aura donc pour les traverses demi-rondes :

$$V = \frac{1}{2}\left(\frac{1}{5}C\right)^2 L$$

Les formes B, F, H, L, de la figure 216 se cubent comme demi-rondes, soit par l'un des modes de cubage qui précèdent, soit plus exactement d'après un rayon moyen entre la moitié de la largeur et l'épaisseur maxima.

Tous ces modes de cubage donnent lieu à des contestations ou à des erreurs qu'il faut éviter, et le meilleur moyen pour y parvenir consiste à prendre la méthode du cubage exact, ou bien à compter pour un même cube minimum toutes les traverses reçues en établissant soigneusement les conditions du marché. C'est ce que l'on tend à faire depuis quelque temps.

La question du cubage se réduit donc aujourd'hui à vérifier si les traverses ont les dimensions fixées par le cahier des charges. Selon les conventions avec le fournisseur, l'un des modes indiqués sert à l'ingénieur pour dresser un barême remis à l'agent chargé de la réception et qui dispense ce dernier de tout calcul. Au chemin de l'Est, le barême employé est divisé en deux séries de tableaux indiquant l'une les cubes des traverses équarries, l'autre les cubes des traverses demi-rondes. Chacune de ces séries contient autant de tableaux que ces traverses peuvent présenter d'épaisseurs différentes de centimètre en centimètre. Les nombres inscrits dans les colonnes à la rencontre de la longueur et de la largeur mesurées, indiquent le volume des traverses exprimé en décimètres cubes.

Traverses équarries

	ÉPAISSEUR = 14								
LARGEUR de la base inférieure	21	22	23	24	25	...	...	..	...
Longueur 2.55	75	79	82	86	89	...	...	...	...
Longueur 2.60	76	80	84	87	91	...	...	...	...
Longueur »	»	»	»	»	»				
Longueur »	»	»	»	»	»				
Longueur »	»	»	»	»	»				

Dans le barême des traverses demi-rondes l'épaisseur est remplacée par le rayon moyen.

Pour la fourniture de la ligne de Wissembourg, le barême des traverses demi-rondes cubées au quart de la circonférence avait la forme suivante :

Traverses demi-rondes

LONGUEUR de la demi-conférence	48	49	50	51	52	...	...	...	...
Longueur 2.40	69	72	75	76	81	...	...	...	...
Longueur 2.45	71	74	76	80	83	...	...	...	...
Longueur »	»	»	»	»	»				
Longueur »	»	»	»	»	»				
Longueur »	»	»	»	»	»				

158. — Réception. — I. Au chemin de fer du Nord, les traverses en chêne demi-rondes, profil F, sont exclues des fournitures.

La face inférieure de toutes les traverses doit présenter deux arêtes vives sans aubier. Pour celles de formes G, O (fig. 216), les faces latérales doivent avoir au moins $0^m,05$ de hauteur sans compter l'aubier, et la face supérieure doit être dépourvue d'aubier sur une largeur d'au moins $0^m,11$. Les traverses de forme J doivent avoir $0^m,17$ à $0^m,23$ de largeur à la face supérieure.

Pour les traverses de forme L, la plus grande épaisseur doit se trouver à $0^m,10$ au moins de la face sciée.

On ne tolère pour la courbure des traverses qu'une flèche inférieure à 1/20

de la longueur. Comme qualité, les bois doivent satisfaire aux conditions énumérées plus haut (154).

Nous indiquons au chapitre suivant les procédés employés pour la conservation des bois, et les essais qui permettent d'en constater la bonne application.

Au chemin du Nord, le mesurage se fait comme nous l'avons indiqué, par 5 centimètres pour les longueurs et par centimètre pour les largeurs ; mais les épaisseurs sont comptées de demi-centimètre en demi-centimètre.

Les traverses dont une seule des dimensions est plus faible que le minimum fixé sont rejetées ; celles présentant des dimensions supérieures au maximum sont admises sans qu'il soit tenu aucun compte de l'excédent.

Le cube moyen des traverses ne peut pas être inférieur à celui qui résulte des dimensions supérieures et inférieures pour chaque catégorie de bois, soit approximativement $0^{m3},087$ pour les traverses en hêtre et $0^{m3},088$ pour celles en chêne. En cas d'insuffisance, on met au rebut un certain nombre de pièces reçues dans les plus faibles dimensions, et le fournisseur est tenu de les remplacer par des bois plus forts, de manière à satisfaire à la condition stipulée.

II. — D'après le cahier des charges de la Compagnie de l'Est datant de 1865, toutes les traverses en bois préparé doivent être d'essence de hêtre ou de charme et injectées de sulfate de cuivre ou de créosote.

On admet, comme traverses équarries, les formes G, N, O (fig. 216). les traverses à trois faces de sciage et une face circulaire J, M, Q, et les traverses à deux faces de sciage parallèle E. Les traverses demi-rondes F peuvent comprendre des traverses H provenant de billes dont on aurait enlevé un madrier de cœur, et des traverses L à deux faces de sciage et une face circulaire. Pour ces dernières, l'épaisseur la plus forte doit se trouver au tiers au moins de la largeur, à partir du talon.

On ne tolère de courbure des traverses que dans le sens latéral, et seulement quand la flèche ne dépasse pas $0^{m},10$. Les faces de sciage supérieure et inférieure des traverses équarries doivent être parfaitement parallèles.

Le cube des traverses équarries s'obtient par la formule $V = Lle$, dans laquelle L est la longueur mesurée de 5 en 5 centimètres, l la largeur de la base inférieure, e l'épaisseur mesurée de centimètre en centimètre. Le cube des traverses demi-rondes s'obtient par la formule $V = \frac{1}{2} \pi R^2 L$; dans laquelle R est la moyenne entre la demi-largeur de la base et l'épaisseur maximum.

Ainsi, dans ce cas, on arrive très approximativement au cube réel du bois, plus élevé que le cube obtenu par la méthode de cubage au quart.

De même qu'au chemin de fer du Nord, le cube moyen des traverses ne doit pas être inférieur au cube résultant de la moyenne des dimensions supérieures et inférieures.

III. — Les traverses en bois de pin préparé, demi-rondes de formes E, F, employées par la Compagnie des chemins de fer du Midi, doivent être entièrement dépouillées d'écorce. Ces traverses, dans la proportion de 4/5 au moins de la fourniture, doivent avoir $0^m,13$ à $0^m,16$ de rayon.

On admet seulement jusqu'à concurrence de 1/10 les traverses ayant la forme E de $0^m,22$ à $0^m,23$ de largeur et de $0^m,12$ à $0^m,14$ d'épaisseur, déduction faite de l'épaisseur à prendre pour obtenir les plans de pose des coussinets. On refuse toute traverse présentant plus d'une des dimensions minima et une courbure dont la flèche dépasserait $0^m,12$.

IV. — Aux chemins de fer de l'Ouest, on a employé sur le nouveau réseau des traverses en chêne non préparé et des traverses en hêtre préparé au sulfate de cuivre.

Les traverses de joints devaient former le cinquième du nombre total. Les traverses en chêne sont équarries purgées d'aubier et ne peuvent présenter des flèches ayant plus de $0^m,03$ de largeur. Les traverses en hêtre pour joints doivent être rectangulaires, G, N, O, avec les mêmes tolérances que celles en chêne. Les traverses intermédiaires peuvent, en outre, présenter les formes F, J, K, M. Pour la forme J, la face supérieure ne doit pas avoir moins de $0^m,17$. Pour la forme K, les faces latérales pas moins de $0^m,11$ de hauteur ; et la largeur maximum de la traverse, pour la forme M, pas moins de $0^m,225$. On ne tolère qu'une flèche ne dépassant pas 1/20 de la largeur horizontale.

Les traverses sont payées à la pièce. Toute traverse présentant une seule dimension inférieure à celles indiquées au cahier des charges est refusée ; celles qui ont des dimensions supérieures sont admises, mais sans qu'il soit tenu aucun compte de l'excédant, et à la condition expresse qu'elles présentent des sections dans lesquelles les sections minima puissent être inscrites.

V. — Au chemin de fer de Lyon, les traverses en chêne sont équarries et ne doivent pas présenter plus de $0^m,03$ de flache ou d'aubier, mesurés sur les faces. Les traverses en hêtre préparé sont équarries ou demi-rondes ; les premières ont les mêmes dimensions que les traverses en chêne.

On rejette toute traverse présentant une seule dimension inférieure au

minimum, ou fendue à l'un des bouts sur toute son épaisseur ou toute sa largeur.

Les traverses sont payées à la pièce, et on ne tient pas compte de ce qui excède le cube minimum.

VI. — Aux chemins de fer de l'État français le mesurage des traverses se fait comme il a été dit précédemment, toute traverse qui a une ou à plus forte raison deux dimensions inférieures à celles indiquées comme minimum sont refusées. Celles qui auraient des dimensions supérieures à celles indiquées comme maximum pourraient être admises mais sans qu'il soit tenu aucun compte de l'excédant.

Le cube moyen des traverses (profil N) est fixé à $0^m,0858$ pour les traverses intermédiaires et à $0^m,1248$ pour les traverses de joint.

VII. — Les chemins de fer du centre de l'Europe font usage d'une manière générale des traverses en chêne créosoté et pour une faible proportion du hêtre, du pin et du mélèze.

Le hêtre est toujours injecté soit au chlorure de zinc ou au sulfate de cuivre mais surtout à la créosote.

Le mélèze est employé en Suisse et en Autriche mais dans des proportions réduites.

Le pin et le sapin reçoivent une application importante en Russie, Suède et Norvège, sur certaines lignes anglaises, en France : aux chemins de fer du Midi, de l'Est, des Bouches-du Rhône ; en Portugal, etc.

En France, les grandes Compagnies emploient à peu près un demi en chêne et un demi en hêtre et pin. La Compagnie du Midi en raison même des conditions spéciales offertes à ses lignes fait un plus grand usage de pin.

159. — Empilages des traverses. — Lorsque les traverses ont été examinées et mesurées avec soin, celles admises reçoivent une marque à l'une de leurs extrémités, quelquefois aux deux. Cette marque peut être faite à froid, à l'aide d'uu marteau portant d'un côté une hachette, de l'autre une marque spéciale à chaque Compagnie (fig. 217). Les traverses rebutées reçoivent sur leurs extrémités deux coups de hachette en croix.

Au chemin de fer de l'Ouest, on marque toutes les traverses présentées à la réception avec un fer chauffé au rouge, et portant, pour les traverses reçues, les lettres C. F. O. et pour les traverses rebutées, la lettre R ; les traverses de joints sont, en outre, marquées d'un J.

Les bois reçus sont chargés sur vagons, si toutefois la Compagnie peut en mettre à la disposition des fournisseurs, aussitôt après la réception, et con-

duits aux chantiers de rabotage ; dans le cas contraire, les traverses sont empilées, avec soin, par espèces et par tas réguliers, sur des emplacements désignés ; le fournisseur est alors dispensé du chargement.

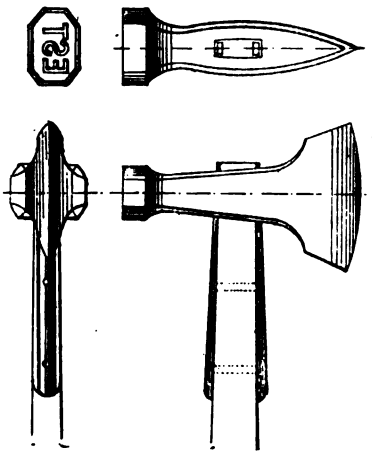


Fig. 217
Marteaux pour la réception des bois (1/4)

On sépare toujours les traverses de joints des traverses intermédiaires, ainsi que celles en chêne de celles en bois préparés. Elles sont rangées le plus souvent en piles mortes, très longues, contenant un nombre indéterminé de traverses ; mais chaque pile est numérotée, et le livre de magasin indique le nombre de traverses qu'elle contient ; dans tous les cas, ces piles doivent reposer sur deux rangées de traverses de rebut et non directement sur le sol les extrémités des piles sont montées par assises croisées pour éviter les éboulements.

On fait quelquefois des piles carrées avec assises croisées, en ménageant entre ces piles un certain intervalle. Cette disposition est plus commode que la précédente, en ce qu'elle permet de passer entre les tas, de les visiter facilement, de consolider par des S ou des plaques en tôle ou en bois clouées les traverses qui se fendent, de faire, enfin, des tas d'un nombre déterminé de traverses ; mais elle est plus coûteuse et exige plus de terrain, ce qui fait qu'on l'applique plus rarement que la précédente.

Au chemin de fer de l'Est, le cahier des charges a imposé au fournisseur le mode d'empilage suivant :

Les traverses sont empilées aux lieux de réception ou sur des emplacements désignés, par espèces, joints ou intermédiaires, en piles mortes de $1^m,80$ de

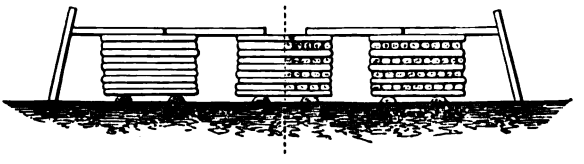


Fig. 218.— Empilage des traverses (1/200).

hauteur minima sur des chantiers en traverses demi-rondes ; les extrémités des piles croisées pour éviter les éboulements (fig. 218).

Les traverses équarries sont placées à la partie inférieure des piles, les

rangs supérieurs ne devant contenir que des traverses demi-rondes, la face circulaire en dessus.

Les piles placées dans le voisinage de la voie de fer alimentent l'expédition des traverses dans le sens perpendiculaire à cette voie; elles sont séparées par des couloirs réguliers d'un mètre de largeur, recouverts au moyen d'une rangée de traverses demi-rondes, aussi jointives que possible, les piles extrêmes sont garanties par des traverses demi-rondes, en saillie de $0^{m},80$.

Moyennant l'exécution de ces prescriptions, qui ont pour but d'empêcher les traverses de se fendre les fournisseurs sont dispensés de l'obligation de garnir d'S et de boulons les traverses qui seraient fendues avant l'expiration du délai de garantie. La réception définitive a ordinairement lieu six mois au moins après la réception provisoire. Les agents de la Compagnie doivent donc, à partir de l'entrée en approvisionnement des bois pour lesquels les indications précédentes ont été exactement suivies, garnir d'S et de boulons les traverses qui se fendraient. Une circulaire leur prescrit également de goudronner les extrémités des traverses.

Les Compagnies procèdent elles-mêmes à ce classement lorsque les traverses ne sont pas livrées par des fournisseurs résidant dans la contrée comme cela arrive fréquemment.

160. — Supports métalliques. — Tous les détails de fabrication et de réception des pièces en fonte se trouvent développés aux n°s 177-178, ainsi que dans le chapitre VIII consacré aux appareils de la voie.

En ce qui concerne les supports en fer ou en acier, le profil étudié dans le but de fournir une résistance suffisante aux efforts transversaux doit faciliter le laminage et requérir le moins de main-d'œuvre possible. On n'oubliera pas que plus grande est la distance verticale entre la face d'appui du rail et l'extrémité inférieure des ailes de pose dans le balllast, plus grande aussi est la difficulté de fabrication; la vitesse de passage au laminoir de chaque point des barres étant en effet proportionnelle à la distance de ce point à l'axe des cylindres, il y a inégalité d'extension des fibres du métal, inégalité que l'on corrige par le degré de compression et par l'augmentation du nombre de cannelures profilantes.

D'un autre côté, plus le métal est mince, plus rapidement il se refroidit, plus il résiste alors à l'extension, et moins il se prête à la répétition des passes. Nous avons déjà signalé ces difficultés à propos du rail Barlow (142).

En ce qui concerne les traverses en acier on a obtenu de bons résultats en laminant les barres au profil convenable et en donnant par un étampage à

chaud les formes spéciales adoptées à certains points, notamment sous les rails et aux extrémités. — *Traverses Péchot, Hilf, etc.*

Relativement à la qualité, on évitera l'emploi d'un métal aigre, cassant, car sous les épaisseurs qu'on est obligé d'adopter pour amener les pièces au minimum de poids, les barres ne tarderaient pas à se fendre, et par conséquent à passer aux rebuts, si le métal n'était pas doux, malléable.

La réception portera donc sur la qualité et sur la forme. On fera subir au métal toutes les épreuves indiquées au paragraphe suivant. Pour la forme, sans être très rigoureux sur l'exactitude du profil en travers, on exigera que la face d'appui du patin des rails soit parfaitement plane. On n'accordera d'ailleurs aucune tolérance sur la position assignée aux attaches, position que l'on vérifiera à l'aide de gabarits disposés pour subir à toutes les températures les mêmes variations de longueur et de largeur que les pièces à recevoir.

§ III

Rails.

161. — Conditions générales. — Dans l'étude d'un chemin de fer dès que les conditions générales de la ligne sont fixées, que la largeur de la voie est déterminée, le rail attire toute l'attention. A tous les points de vue il représente la partie capitale de la voie. La forme des rails, la nature et la qualité du métal qui les constitue, leurs dimensions enfin assurent à un degré plus ou moins prononcé la sécurité de la circulation, en même temps qu'elles exercent une influence plus ou moins considérable sur les dépenses de premier établissement et sur les frais d'entretien.

Dans la détermination des éléments constitutifs d'une voie ferrée on doit se préoccuper de subordonner l'outil au travail à fournir, c'est-à-dire que la fixation de la largeur de la voie, de sa nature, du poids des rails, etc., doit être arrêtée suivant la nature et l'importance du trafic à desservir. Le problème posé consiste aussi à trouver avec le minimum de dépenses d'installation et de frais annuels, un maximum de sécurité, problème complexe dont les données varient non-seulement d'un chemin à un autre, mais encore d'une section à l'autre sur le même chemin. La nature du trafic est facilement connue mais son importance est souvent fort difficile à prévoir et des ingé-

nieurs de mérite dans des pays divers ont eu parfois leurs prévisions bouleversées dès les premières années d'exploitation.

Pendant la durée de l'exploitation des modifications importantes sont souvent imposées par suite du développement acquis par le trafic, telle ligne dont le trafic paraissait avoir atteint un chiffre normal et par suite dont les dépenses annuelles devaient suivre une marche régulière, se voit amenée par un accroissement de circulation à augmenter la puissance de ses moteurs, dont l'action destructive sur les rails nécessite, comme conséquence : un accroissement de résistance des éléments constitutifs de la voie.

Les exigences internationales entraînent aussi une augmentation de vitesse des trains et la consolidation de la voie s'impose.

Laissant à l'avenir le soin d'améliorer les conditions d'exploitation, les administrations chargées de la création du chemin tendent à réduire à la dernière limite les dépenses de premier établissement, et la réduction tombe trop souvent sur les frais de construction de la voie, en particulier sur le poids ou la qualité des rails. Il faut savoir y remédier rapidement car les frais d'entretien de la voie sont des charges constantes, augmentant d'autant plus d'importance et exerçant en même temps une action d'autant plus désastreuse sur le matériel roulant que la voie aura été installée avec des matériaux insuffisants de dimensions et de qualité.

Autre observation. Par mesure d'ordre économique, les rails destinés à la voie définitive se placent souvent en voie provisoire pour l'exécution des terrassements. Employés ainsi, dans de mauvaises conditions de pose et d'entretien, exposés à toutes les chances d'accident que le matériel de construction peut présenter, les rails subissent, dans cette première période de leur emploi des avaries qui ne se traduisent pas toujours à l'extérieur, mais qui certainement doivent en altérer la durée.

Une fois placés en voie définitive, les rails reposent sur du ballast mal bourré, sur des terrassements ou des ouvrages d'art incomplètement tassés, sur un sol enfin qui n'a pas pris le degré de compression qu'il n'atteint qu'après quelque temps d'exploitation. Pendant cette deuxième période, les supports des rails ne conservent pas le plan de pose géométrique qui leur a été assigné dès l'origine.

La distance des points d'appui peut varier du simple au double, par suite du défaut de bourrage d'un support ou d'une dépression dans le corps de la route. Il peut donc arriver fréquemment que le métal d'un rail soit exposé à travailler bien au-delà de la limite d'élasticité.

Telle paraît être l'explication la plus plausible de l'accroissement rapide

des frais d'entretien de la voie et du remplacement prématuré des rails pendant les premières années d'exploitation alors même que les dimensions et la nature du métal semblaient leur assurer une durée plus considérable.

Il n'est pas douteux qu'on remédierait en grande partie à ces causes de détérioration en proscrivant d'une manière absolue, l'emploi du matériel des voies définitives pendant la construction du chemin, solution qui n'est pas pratique dans tous les cas qui se présentent.

Ajoutons que des abus souvent graves sont constatés dans l'emploi du matériel pendant l'exécution des travaux. Ces observations s'appliquent aussi aux procédés souvent trop sommaires que l'on suit pour ballaster les voies. Bien entendu le matériel définitif peut être utilisé, mais dans ce cas des précautions sérieuses doivent être prises.

Le nombre des éléments variables qui entrent dans la constitution de la voie et du matériel, les relations de ces éléments entre eux sont trop peu définies, pour que, réunies dans une seule formule, on puisse en tirer la valeur de l'une des données du problème, toutes les autres étant supposées connues ; mais en cherchant à se rapprocher d'une relation empirique entre la section du rail, l'écartement des supports, le poids des machines, le poids et la vitesse des trains les plus rapides, pour les anciennes voies qui ont fait un service beaucoup plus long que les voies nouvelles, on pourrait s'efforcer d'établir le poids du rail et l'écartement des supports en raison des autres données de la question.

162. — Forme des rails. — Le rail doit sans subir de déformation, résister d'abord à l'action verticale des véhicules, puis aux efforts transversaux auxquels il est soumis dans les alignements droits mais surtout dans les courbes, enfin à l'usure provenant du frottement des roues et principalement pendant l'action des freins, etc., etc.

La partie supérieure du rail appelée champignon est donc celle qui est la plus exposée à la détérioration. Il a donc semblé d'abord que la forme du rail en Ω devrait présenter le plus d'avantages puisque les bords du champignon sont parfaitement épaulés ; mais pour donner à ce rail une raideur suffisante, il faudrait en allonger les ailes outre mesure , et alors on tomberait dans l'inconvénient d'un rail trop lourd ou de répartition vicieuse du métal.Toutes les tentatives de modifications ont toujours ramené les ingénieurs à la forme d'une section en double T. Néanmoins il n'y a que quelques années que nous avons encore vu laminer dans une aciérie anglaise un profil en Ω.

En considérant la partie voisine du joint comme encastrée d'un côté et simplement posée de l'autre, le rail devrait satisfaire à la formule $PL = \frac{RI}{n}$ dans laquelle (Appendice) :

P est le poids appliqué à l'extrémité du bras de levier,

L la longueur du bras de levier,

R l'effort de traction ou de compression auquel est soumis le métal,

I le moment d'inertie de la section,

n la distance de l'axe des fibres invariables au point de la section le plus éloigné de cet axe.

On peut par un calcul rigoureux déterminer $I = \int v^2 \, d\omega$ (somme des produits des divers éléments $d\omega$ de la section de rupture multipliés par le carré de la distance variable v à l'axe neutre) et par suite déterminer R. Mais comme la pratique a démontré que la forme d'un rail doit se rapprocher de celle d'un rectangle évidé latéralement (fig. 219), on a :

$$n = \frac{h}{2}, \quad I = \frac{bh^3 - b'h'^3}{12}, \quad \text{d'où : } PL = \frac{R\,(bh^3 - b'h'^3)}{6\,h}$$

on peut, sans erreur importante, déterminer par cette formule simple les divers éléments du problème.

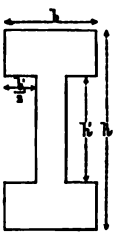


Fig. 219

Choix d'un type de rail. — Si l'ingénieur est indécis parfois malgré l'expérience acquise sur le poids et le profil à donner au rail d'une ligne dont le trafic est connu, il peut être moins embarrassé quand il s'agit de faire un choix entre les divers types de rails qui ont été essayés jusqu'à présent. De tous les profils imaginés dans les divers pays, il n'en reste plus que deux entre lesquels on puisse hésiter : le profil à deux champignons symétriques ou non ou profil à coussinets (fig. 220) et le profil à simple champignon avec ou sans patin ou à large base (fig. 221).

Le profil symétrique, le plus ancien, est encore préféré par quelques ingénieurs pour diverses raisons en tête desquelles on plaçait autrefois l'économie réalisée par le retournement du rail, avantage qui a presque disparu depuis l'emploi de l'acier. Le coussinet sur lequel repose le rail, assure la stabilité de la voie par l'épaulement que ses joues donnent au champignon supérieur tout en permettant d'enfouir profondément les traverses dans le ballast, ce qui est favorable à leur conservation, la large base du coussinet est d'ailleurs avantageuse avec des traverses en bois tendre.

Ce qui est surtout à indiquer en faveur du rail à double champignon c'est la facilité avec laquelle un rail peut être remplacé et le peu de temps que cette opération exige.

L'économie réalisée par le retournement du rail a été fort discutée car on introduisait ainsi dans la voie des rails dont la section était réduite et dont le champignon placé dans les coussinets était usé d'une manière très irrégulière.

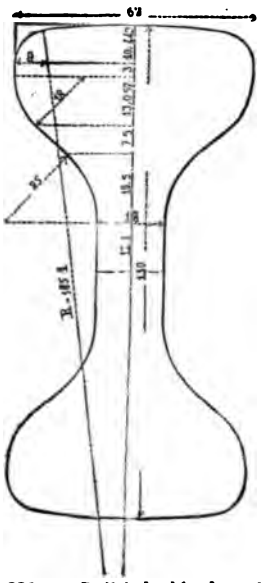


Fig. 220. — Rail à double champignon (1/2).

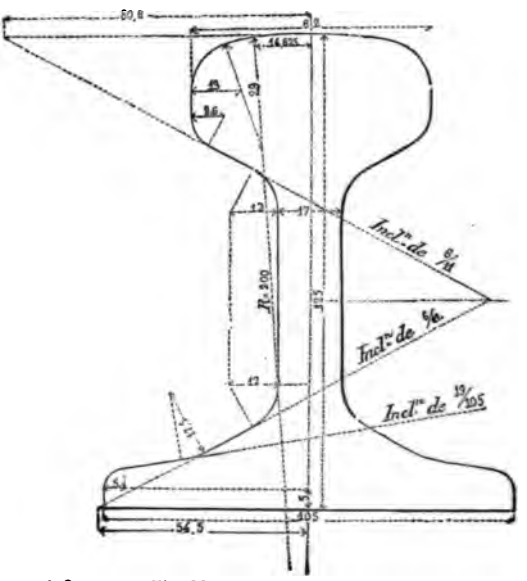


Fig. 221. — Rail à patin (1/2).

Mais avec les rails d'acier dont l'usure est beaucoup plus régulière que celle des rails en fer on a renoncé complètement à ce retournement et on a pensé à donner au champignon supérieur une surépaisseur correspondant à une usure normale qui laisserait encore au rail un profil suffisamment résistant.

Ce profil dit rail dissymétrique ou Bullheaded est très employé en Angleterre.

A la Compagnie de l'Ouest français la surépaisseur donnée au champignon supérieur du rail de ce profil est de $0^m,012$ et ce rail (fig. 222) est employé de préférence sur les lignes parcourues par des trains à grande vitesse où dans les souterrains ou les rails sont exposés à des détériorations exceptionnelles.

Le rail à patin s'applique immédiatement sur la traverse, mais il ne réalise

l'économie résultant de la suppression des coussinets qu'en en sacrifiant les avantages.

En raison de sa forme plus rationnelle à poids égal, le rail à patin offre plus de rigidité et la voie exige moins de surveillance par suite de la suppression des coins en bois qui se desserrent et vont jusqu'à s'échapper entièrement du coussinet.

Sur quelques lignes on a conservé et même étendu l'emploi du rail en acier à deux champignons non symétriques ainsi que nous l'avons dit plus haut.

Il y a encore d'autres profils qui ont été essayés et dont nous avons parlé au chapitre précédent, mais jusqu'à nouvel ordre on s'en tient aux types dont il vient d'être question.

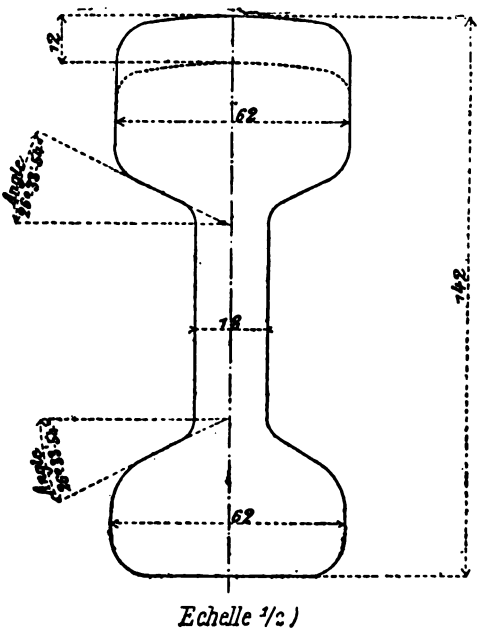


Fig. 222. — Rail dissymétrique, Ouest.

Au point de vue de l'économie de premier établissement, le rail à large base ou Vignoles, du nom de l'ingénieur anglais qui l'a importé d'Amérique en Europe, est préférable au rail à double champignon mais, quant à la durée et aux frais d'entretien, la question n'est pas encore tranchée, et elle ne le sera que par une expérience prolongée et une comparaison faite sur les deux rails employés dans des conditions complètement identiques.

Il faut reconnaître que le rail à large base l'emporte d'une manière générale sur son concurrent, car il n'y a guère qu'en Angleterre et sur quelques lignes françaises qu'on rencontre ce dernier. Cependant la question ne paraît pas encore résolue d'une manière indiscutable.

ÉLÉMENTS DU RAIL		Hauteur totale	Largeur du champignon supérieur	Largeur du champignon inférieur ou de la base	Epaisseur de l'âme	Poids du mètre
A DOUBLE CHAMPIGNON		mm	mm	mm	mm	kgr.
Chemin de fer de l'Ouest. . . .	Fer	130	62	62	18	37.75
	Acier. . . .	130	62	62	18	38.75
Chemin de fer du Nord	Fer	130	62	62	17	37.40
Chemin de fer de Bavière . . .	Fer	123	57	53	18	35
Chemin de fer d'Orléans	Acier. . . .	134,4	60	60	18	38.2
Chemin de fer du Midi	Acier. . . .	134	61	61	16	37.6
VIGNOLES						
Chemin de fer du Nord	Fer	125	62	105	17	37
	Acier. . . .	125	56	97	12	30
		142	60	134	15	43.215
Chemin de fer d'Orléans	Fer	130	60	100	16	35.65
Chemins de fer de l'Est	Fer	120	60	99	15	35
	Acier. . . .	120	57	99	13,5	30
Chemin de fer de Prusse. . . .	Fer	130	59	102	15	35
	Acier. 1882	134	58	105	11	33.4
	Acier. 1890	138	72	110	14	41
Chemin de fer de l'Etat Belge (Goliath)	Acier. . . .	145	72	135	17	52.70
		151,5	74,5	125	15,4	50
Chemin de fer de la Sarthe. . . .	Fer	113	58	95	14,8	30
Chemin de fer Portugais	Acier. . . .	125	54	95	12,5	30
Chemin de fer de Paris-Lyon-Méditerranée. . .	Acier. . . .	140	60	130	14	44.52
		128,63	60	100	12	34.2
	Acier P-M . .	130	60	130	14	38.950
	Acier. . . .	142	66	130	14	47
Chemin de fer de l'Etat Autrichien I. R. P		125	59	105	14	33
Chemin de fer Hongrois		123	57	104	12	33.2
Chemin de fer Andalous.		125	54	95	12	
Chemin de fer de la Suisse (sud-ouest).		127	60	99,5	11,5	

ÉLÉMENTS DU RAIL VIGNOLES			Hauteur totale	Largeur du champignon supérieur	Largeur du champignon inférieur ou de la base	Epaisseur de l'âme	Poids du mètre
VIGNOLES (SUITE)			mm	mm	mm	mm	kgr.
Grand central Belge			125	60	104	16	37
Chemin de fer Rhenan-Néerlandais .			130	60	110	14	36.4
Chemin de fer du Saint-Gothard .	Acier.	1882	130	60	110	13	36.6
		1888	142	62	110	13	44
		1891	145	70	130	13	46
			147	70	130	13	48
Chemin de fer de Thessalie . . .	Acier. . . .		100	46	78	11	21.25
Chemin de fer de Porto-Rico . .	Acier. . . .		98	45	86	9	20
Chemin de fer d'Italie (lignes second.).			90	42	74	10	18

Dimensions transversales des rails. — Ces dimensions dépendent comme nous l'avons vu, de la nature du métal, de l'espacement des supports, du tonnage, de la charge supportée par les essieux, etc.

Depuis quelque temps les Compagnies ont été amenées par le développement de leur trafic à augmenter la vitesse et la puissance de leurs machines et, par suite, à adopter un rail d'un poids de plus en plus élevé tout en tenant compte des qualités offertes par l'acier.

Nous donnons ci-dessus un tableau des poids et dimensions principales des rails adoptés par diverses Compagnies. Ce tableau indique aussi les dimensions des rails en fer encore posés sur la voie et auxquels l'acier a été substitué.

Forme du champignon. — La section du champignon affecte trois formes si on ne considère que les droites enveloppantes.

1° Figure rectangulaire ;

2° Figure trapézoïdale dont la grande base est à la partie supérieure ;

3° Figure trapézoïdale dont la grande base est à la partie inférieure.

La première figure est la plus répandue surtout dans les rails à double champignon et en raison de l'usure régulière de l'acier on augmente la hauteur du champignon de façon à ce que le rail présente encore une résistance suffisante après une usure de plusieurs millimètres (12 millimètres au nouveau rail de l'Ouest, de P.-L.-M., État Belge, etc.)

Mais il est nécessaire de ne pas exagérer le poids du champignon proprement dit par rapport au poids réservé soit au champignon inférieur, soit au patin : il faut éviter, en effet, que pendant le laminage, en raison de la différence des masses, l'une des parties se refroidisse beaucoup plus rapidement que l'autre.

Les angles du quadrilatère adopté sont adoucis par des courbes dont les rayons ne sont pas choisis arbitrairement : car celles placées à la partie supérieure ont une très grande influence sur l'entretien des bandages des roues et sur la durée des rails.

On a donné à la table de roulement un bombement suffisant pour que le frottement des bandages sur cette table, dans les courbes, soit aussi faible que possible. Ce bombement ne doit pas être trop prononcé, afin que la pression des bandages se répartisse sur un nombre de points tel que le rail ne creuse pas rapidement une gorge trop profonde dans le bandage et, réciproquement, que les bandages un peu usés ne produisent pas un écrasement trop énergique sur la portion en porte-à-faux du champignon.

L'expérience a démontré que la surface de roulement des rails en fer peut être formée par une portion de cylindre de $0^m,200$ à $0^m,220$ de rayon, sur la moitié de la largeur totale du champignon, raccordée avec les faces latérales par des surfaces cylindriques de $0^m,030$ et $0^m,012$ de rayon.

Les profils des Compagnies françaises ont possédé d'abord le plus grand rayon, soit 220 millimètres pour la surface supérieure qui se raccorde avec les plans verticaux, par des surfaces cylindriques dont le rayon varie de 8 à 9 millimètres 5. Mais en adoptant l'acier dur les Compagnies ont encore augmenté ce rayon et ont fini même par employer une surface plane justifiée par l'usure des bandages des roues en acier doux. Il convient, en effet, d'éviter que des gorges se produisent sur ces bandages, et, pour cela, il faut que la surface de contact soit la plus grande possible.

Les faces latérales elles-mêmes doivent être profilées suivant un contour dont l'action sur le boudin des roues soit le moins possible destructive. Elles se composent d'une surface plane raccordée par deux surfaces cylindriques.

Le raccordement du champignon avec la tige doit satisfaire à deux conditions opposées : d'une part, si la surface de raccordement est faiblement inclinée par rapport à l'axe de la section, autrement dit, si elle fait avec cet axe un angle inférieur à 45°, le champignon est d'autant mieux soutenu que cet angle est plus petit ; mais, d'autre part, quand il s'agit d'adopter des éclisses au rail, leur efficacité est d'autant plus grande que l'inclinaison du raccordement est plus forte par rapport à l'axe de la section.

Dans la figure 220 qui représente le profil du rail à coussinets de l'Ouest, on voit que l'inclinaison des faces de portées d'éclisses se rapproche beaucoup de la verticale. Aussi l'éclissage de ce rail laissa-t-il à désirer et la Compagnie de l'Ouest en adoptant le rail de 38 k. 750 d'abord, puis celui de 44 kilogrammes, modifiât-elle avantageusement cette inclinaison (fig. 222). Les nouveaux profils des Compagnies françaises (fig. 223) sont établis en vue d'assurer un éclissage aussi parfait que possible et l'inclinaison de 60 et 63° sur la verticale qui correspond à 30 et 27° sur l'horizontale, a été généralement admise.

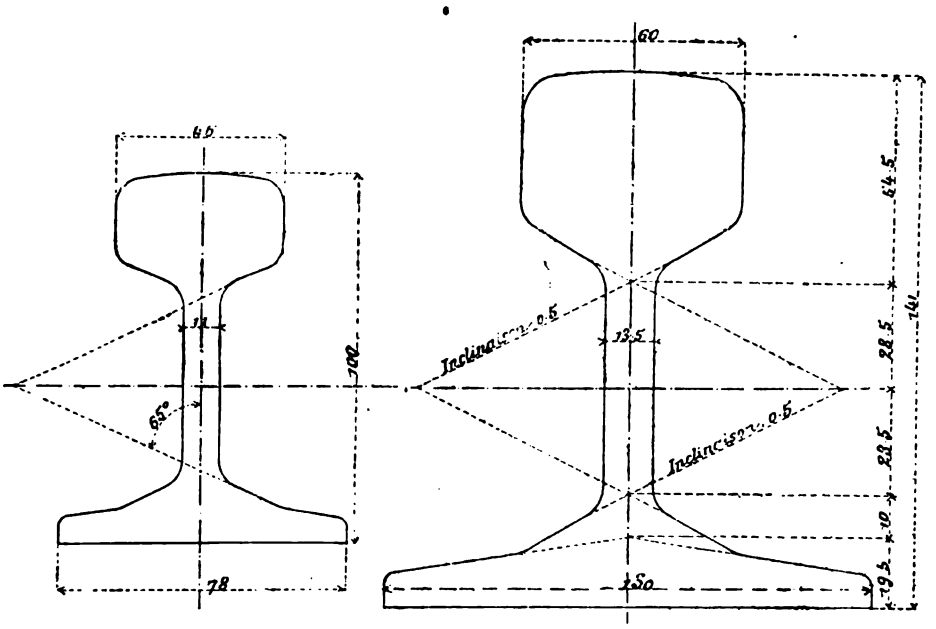


Fig. 224. Rail Thessalie (1/2). Fig. 223. Rail, Est français (1/2).

Le profil du rail de la Thessalie (fig. 224) montre que l'angle de cette face est de 65°.

Le rail de 52 kg. 700 de l'Etat Belge surnommé rail Goliath a une inclinaison d'éclissage correspondant à 1/5 (fig. 225).

La figure 225 représente outre le profil du rail, les éclisses et l'ensemble de la pose.

Champignon inférieur et patin. — Le champignon inférieur dans le rail symétrique est naturellement dicté par les exigences du profil supérieur.

Dans le rail dissymétrique (ou Bulleheade) (fig. 222) on a souvent conservé

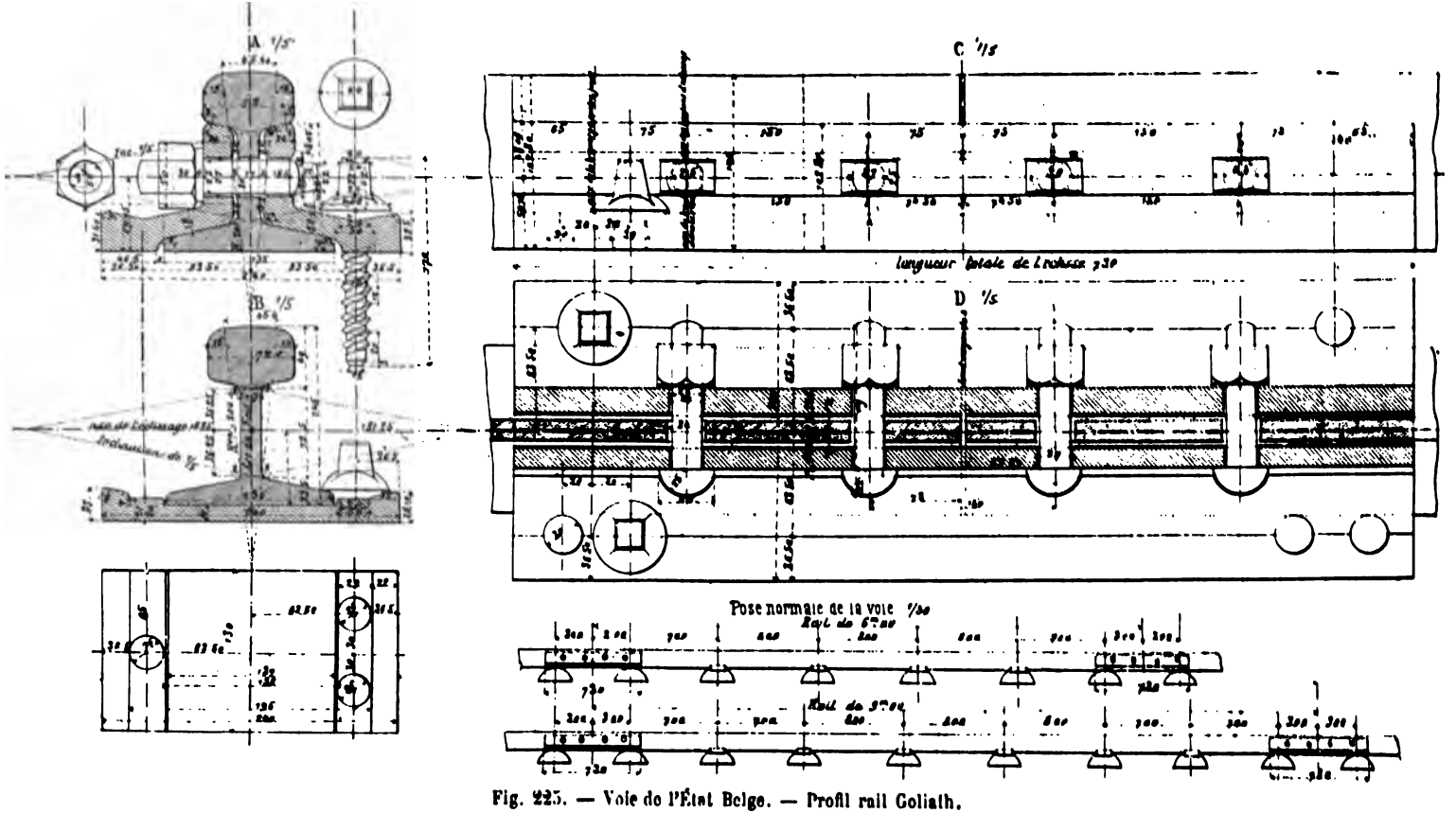


Fig. 225. — Voie de l'État Belge. — Profil rail Goliath.

le profil de l'ancien rail en fer pour le champignon inférieur se contentant de modifier le champignon supérieur.

Le patin du rail Vignoles doit présenter une surface d'appui suffisante suivant la charge à supporter et d'après l'essence des traverses, bois durs ou bois tendres ; l'inclinaison de la portée de l'éclisse est la même que celle du champignon, elle est raccordée avec une autre surface moins inclinée sur l'horizontale et qui est destinée à servir d'appui à la tête du tirefond ou du crampon.

Mais avec l'acier, et surtout avec l'acier dur, il est à craindre la trempe des bords du patin. Il convient donc de lui donner une épaisseur suffisante pour éviter un refroidissement trop brusque qui produirait des tensions moléculaires inégales dans certaines parties de la section du rail.

C'est une des raisons invoquées dans l'emploi de l'acier dur pour recommander le profil à double champignon dont la symétrie se prête mieux à un refroidissement régulier.

Par suite de la réduction des dimensions du profil du rail et dans sa partie inférieure en vue de reporter l'excès de métal à la partie supérieure du champignon on était arrivé à établir un patin dont l'épaisseur était des plus minces et les longueurs des barres étant de plus en plus grandes il arrivait, surtout dans le laminage des rails en acier dur, qu'à la dernière cannelure le rail était refroidi et le patin se trempait ; il présentait même des criques dans certains cas.

En adoptant des rails d'un poids plus élevé les Compagnies de chemins de fer ont donné au patin une épaisseur suffisante pour parer à ces inconvénients. Il paraît convenable pour les rails de 34 à 38 kilogrammes de ne pas descendre au-dessous de 9 millimètres.

163. — Longueur des rails. — Depuis la disparition des premiers rails, fabriqués généralement à une longueur normale de $4^{m},50$ on avait adopté la longueur de 6 mètres comme répondant le mieux aux conditions de fabrication, de manutention et d'emploi.

Cependant, le désir de diminuer le nombre des joints, par conséquent les frais d'établissement et d'entretien, a fait augmenter la longueur primitivement adoptée.

Dès 1868 on pouvait constater parmi 47 administrations allemandes les longueurs suivantes :

8	chemins de fer	avaient	adopté la longueur de	5m65 à 6m00
6	»	»	»	6 00 à 6 50
22	»	»	»	6 50 à 7 00
2	»	»	»	7 00 à 7 50
9	»	»	»	7 50 à 8 00

Depuis cette époque et avec l'emploi de l'acier, les longueurs des rails ont été constamment en augmentant. Elles sont déterminées par les conditions de fabrication des rails car, dans le but de diminuer le nombre des joints, les Compagnies cherchent à avoir les barres les plus longues possibles, tout en tenant compte des facilités de pose et de transport à pied-d'œuvre.

La longueur des barres est encore subordonnée au poids du mètre courant de rail, il ne conviendrait pas d'adopter la même longueur pour des rails de 18 kilogrammes ou de 47 kilogrammes. Pendant le transport des usines sur la ligne, le rail est soumis à diverses manipulations auxquelles il doit résister sans déformations et les rails légers de grandes longueurs risqueraient d'arriver tordus et déformés.

Il convient de remarquer d'ailleurs que la diminution du nombre des joints présente certains avantages économiques aussi bien dans l'établissement de la voie que dans l'entretien courant, en même temps qu'elle assure une plus grande stabilité de la voie.

Dans l'établissement de la voie, la suppression d'un certain nombre de joints entraîne l'économie des éclisses, boulons, etc.

Les extrémités des rails sont appauvries par le passage des roues, on doit donc chercher à en diminuer le nombre. En adoptant l'acier, les Compagnies de chemins de fer ont augmenté la longueur des barres et, suivant le poids du mètre courant, ont admis des longueurs de 8, 10 et 12 mètres.

Le tableau ci-dessous donne les longueurs et les poids du mètre courant de rails correspondants d'un certain nombre de Compagnies de chemins de fer.

NOMS	POIDS par mètre	PROFIL du rail	LONGUEUR des barres	NATURE du métal
Chemins de fer du Nord. .	30k,00	Vignoles	8m,00	
» » »	43 ,45	»	12 ,00	
Chemins de fer de Paris-Lyon-Méditerranée . . .	34 ,20	»	10 ,00	
Chemins de fer de Paris-Lyon-Méditerranée . . .	38 ,80	»	12 ,00	
Chemins de fer de l'Est . .	30 ,00	»	8 ,00	
» » » . .	44 ,20	»	12 ,00	
» » d'Orléans. .	38 ,20	doubl. champ.	11 ,00	
» » de l'Ouest. .	38 ,75	»	8 ,00	
» » » . .	44 ,00	dissymétr.	12 ,00	
» » du Midi . .	37 ,60	»	11 ,00	
» » de l'Etat Belge	38 ,00	vignoles	9 ,00	
	32 ,00		9 ,00	Acier fondu
» » de Bône à		»		
Guelma.	25 ,00	»	7 ,80	
Chemins de fer de Thessalie .	21 ,25	»	6 ,44	
» » de Porto-Rico.	20 ,00	vignoles	8 et 10 mèt.	
» » de Great Northern	42 ,6	doubl. champ.	20 à 30 pieds	
Chemins de fer de Great Eastern	39 ,6	»	»	
Chemins de fer de North Eastern	44 ,6	»	»	
Chemins de fer de North British.	41 ,6	»	»	
Chemins de fer de Middland.	42 ,18	»	»	

164. — Usure des rails. — Les rails en fer présentent différentes détériorations qui tiennent à la nature même du métal, ce sont :

1° La dessoudure des fibres du métal ;

2° L'usure assez rapide du champignon par le passage des roues ;

3° La déformation ou l'écrasement du champignon.

Les rails en acier ne présentent pas les mêmes causes de détérioration ou du moins n'en ont certaines qu'à un degré plus faible. L'usure du champignon supérieur se fait d'une façon moins rapide et plus régulière qui permet l'utilisation du rail pendant un temps plus long. En raison même de sa nature, le métal est plus homogène, plus dur, il s'use moins rapidement et se déforme ou s'écrase moins fréquemment.

S'il ne présente point de dessoudure, par contre, les soufflures qu'il renferme quelquefois se réunissent par suite des vibrations dues au passage des trains et forment une fente longitudinale qui entraîne le rebut du rail. Les perfectionnements et les soins apportés à la fabrication de l'acier tendent à faire disparaître de plus en plus ce défaut.

Le seul obstacle à l'emploi de l'acier était encore, il y a quelques années, son prix plus élevé, mais actuellement il ne saurait être opposé à son adoption.

La plus grande résistance que présente ce métal ainsi que ses diverses qualités ont pour conséquence immédiate une plus grande sécurité pour l'exploitation et des frais moindres d'entretien courant de la voie.

Lorsqu'on veut se rendre compte des conditions d'usure des rails d'acier, on doit étudier : (1)

1° La composition chimique :

2° Les procédés de fabrication ;

3° Les dimensions des rails ;

4° La nature et l'espacement des traverses ;

5° L'influence des déclivités et du tracé en général ;

6° L'emplacement des rails dans les voies des gares et aux abords ;

7° L'influence des freins, la régularité de leur manœuvre ;

8° L'influence de la charge des essieux et de l'empatement maximum des véhicules ;

A. — *Champignon :*

9° L'influence du ballast :

10° L'influence des conditions climatériques et atmosphériques ;

11° L'influence des tunnels.

B. — *Ame.*

L'âme subit l'influence des mêmes causes de détériorations et en outre celle résultant de la fatigue du rail entier.

C. — *Le patin ou champignon inférieur.*

Le patin ou le bourrelet inférieur, suivant le type de rail, s'usent au droit des attaches, pour ces derniers, à l'emplacement des coussinets et cette usure paraît être en rapport avec le tonnage ; on doit étudier aussi pour ce qui les concerne, les causes générales d'usure des rails, l'influence du ballast.

Une des causes notables de détériorations du patin provient des relevages plus ou moins fréquents et des recharges de ballast.

Les champignons des rails en acier s'usent uniformément, et on a cherché

(1) Congrès international des Chemins de fer 1889.

à établir la relation qui pouvait exister entre l'usure d'un millimètre et les causes de cette usure. Ces dernières peuvent être considérées, soit par rapport à la circulation d'un nombre déterminé de tonnes, et soit par rapport au nombre de trains annuels.

L'expérience n'a pas encore pu se prononcer sur la durée des rails d'acier, mais il est admis, assez généralement, qu'elle atteindra dix fois la durée des meilleurs rails en fer. Bien des causes secondaires pourront modifier ces prévisions.

165. — Généralités sur la fabrication. — Nous avons déjà vu que les rails exposés à la pression et au choc des roues devaient posséder une dureté de surface de roulement convenable pour ne pas se déformer, une raideur suffisante qui les empêche de fléchir au delà d'une certaine limite, et une tenacité telle, que les chocs combinés avec un abaissement de température n'en provoquent pas la rupture. Si le rail est en fer, il convient qu'il ne soit pas *aigre* ou *cassant à froid.*

S'il est en acier, il doit posséder une homogénéité complète. Il faut notamment que le champignon conserve le plus longtemps possible son profil primitif, sa masse doit donc être homogène et compacte et avoir une dureté suffisante pour ne pas être entamée par l'action des bandages.

L'acier des bandages doit-il être plus dur que l'acier des champignons des rails sur lesquels ils circulent?

Cette question divise encore les ingénieurs de chemins de fer, nous la traiterons plus loin. Tome III.

166. — Choix du métal à rails. — Les rails en fer ordinaire durent peu. Tantôt par défaut de qualité, tantôt par défaut de dimensions, on a dû renouveler presque totalement des voies âgées de 12 ou 15 années. Les premiers essais de métal de qualité supérieure ont porté sur :

Les rails soudés en fer naturel cémenté :

— soudés en acier puddlé ;

— massifs en acier fondu ;

— massifs en fonte affinée.

Les rails mixtes composés de mises en fer superposées et soudées ont formé pendant longtemps la très grande majorité des voies.

Les rails en fer cémenté ont été essayés principalement pour les pièces des appareils spéciaux de la voie. Certaines Compagnies, l'Orléans en France, le chemin de Cologne à Munden en Allemagne, celui de Bologne à Florence en Italie, etc., ont appliqué le rail avec champignon cémenté.

L'acier puddlé a été expérimenté en Allemagne pour faire place ensuite à l'acier fondu.

Pendant un certain temps, la différence de prix entre le fer et l'acier fondu a fait écarter ce dernier, mais l'application industrielle des procédés Bessemer, Martin Siemens, Thomas, etc., a bientôt offert aux Compagnies de chemins de fer un métal de qualité supérieure à un prix de plus en plus réduit.

Les qualités recherchées dans le métal à rails, la dureté et la ténacité sont précisément offertes par l'acier, qui, en outre, est fusible et malléable, ce qui permet d'obtenir un produit homogène.

Tout en étant d'accord sur la substitution de l'acier au fer, les diverses administrations de chemins de fer ne sont pas du même avis sur les qualités de résistance que le métal doit présenter. En Angleterre, d'une manière générale, on est partisan de l'acier demi-doux et en Allemagne de l'acier doux. En France, on penche de préférence pour l'acier dur, on exige des aciers durs d'une résistance supérieure à 70 kilogrammes, sauf cependant la Compagnie de l'Est qui impose de l'acier, dont la résistance est comprise entre 55 et 60 kilogrammes.

En Belgique et en Angleterre, on emploie de l'acier demi-doux dont la résistance est comprise entre 60 et 70 kilogrammes.

En Suisse, Hollande et Allemagne, la qualité de l'acier se rapproche de celle de la Compagnie de l'Est et est comprise à peu près dans les mêmes limites, sur certaines lignes allemandes on est même descendu à 45 kilogrammes.

M. Comard, Ingénieur des chemins de fer de Paris-Lyon-Méditerranée a publié une étude très complète sur l'usure des rails en acier de laquelle il ressort :

1° Que dans les voies des lignes de l'Union Allemande (Verein), les rails en acier doux de 50 à 60 kilogrammes de résistance s'usent en moyenne à raison de trois fois plus vite que dans les voies de la Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée dont les rails sont en acier dur, présentant une résistance de 70 à 75 kilogrammes.

2° Que, sur les rails de cette dernière Compagnie, les rails qui ont donné aux épreuves les résultats les plus élevés comme dureté, sont ceux qui s'usent le moins ;

3° Que, dans les tunnels et les parties de voies où les roues des véhicules patinent fréquemment, l'acier doux s'est montré supérieur à l'acier dur.

Le Congrès des Chemins de fer, en 1888, a adopté les conclusions suivantes, qui lui ont été proposées par M. Brocks, ingénieur en chef de la voie aux Chemins de fer de l'[illegible] :

« On doit préférer, pour la fabrication des rails l'acier le plus dur, à la condition qu'il soit de bonne qualité, et à peu près exempt de phosphore.

« Le degré de dureté qu'il est possible d'obtenir, sans que la qualité en soit altérée, dépend du mode de fabrication et de la nature du minerai employé. »

167. — Fabrication des rails. — Les perfectionnements apportés dans la fabrication de l'acier permettent actuellement de livrer les rails à des prix tels que les Compagnies de chemins de fer ont abandonné complètement les rails en fer. Néanmoins, nous croyons utile de reproduire ce qui a été dit dans l'édition précédente sur la fabrication des rails en fer :

On sait que le fer se trouve dans la nature à l'état d'oxydes, en combinaison avec quelques-uns des corps qui constituent la croûte du globe, formant ainsi ce que l'on appelle les *minerais de fer*. Ces minerais ont une composition variable avec l'âge du terrain où on les trouve, et qui exerce la plus grande influence sur la qualité du métal qu'on veut en extraire. Ainsi, quand on désire obtenir des produits supérieurs, il faut éviter l'emploi des minerais chargés de soufre et de phosphore, fournis en général par les terrains secondaires ou leurs successeurs, et s'adresser, de préférence, aux minerais renfermant du manganèse, recherchant surtout ceux des terrains de transition.

Ces minerais, traités au haut-fourneau, donnent la fonte qui contient, entre autres substances associées au fer, en proportions plus ou moins notables, mais qui peuvent varier à l'infini, les métalloïdes indiqués au tableau suivant avec les limites inférieures et supérieures de ces proportions :

Carbone	2,260	à	6,275	pour cent
Silicium	0,100	à	4,460	»
Soufre	traces	à	0,125	»
Phosphore	traces	à	0,260	»
Manganèse	traces	à	10,870	»

Ces corps sont fournis à la fonte, soit par les minerais, soit par les fondants, soit enfin par le combustible.

A l'aide d'élaborations plus ou moins longues, plus ou moins coûteuses, on parvient à débarrasser, en grande partie, le fer de ces substances. Le carbone ne disparaît pas toujours complètement. Il faut même en conserver une [illegible] portion, car l'analyse démontre que les aciers contiennent une proportion [illegible]bone, qui varie de 0,15 à 1,50 %, et que les bons fers en retien[illegible] à 0,60 %.

Ainsi l'acier, en ce qui concerne sa composition relativement à la proportion de carbone, est l'intermédiaire entre la fonte et le fer. Mais la proportion de carbone est-elle la seule caractéristique de l'acier ? Quel est le rôle du silicium et des autres corps ? Quelle est l'influence du carbone ?

Il est établi aujourd'hui que le carbone seul ne suffit pas à caractériser un acier : la présence du silicium, dans une plus faible proportion d'ailleurs, sert à définir ces aciers, durs et peu flexibles.

On doit s'efforcer de diminuer le plus possible la quantité de phosphore existant dans l'acier, car, en présence d'une forte teneur en carbone, il est l'indice d'un acier dur mais cassant.

Lorsque le métallurgiste veut obtenir du fer ou de l'acier au moyen de la fonte, il la soumet à des réactions chimiques dont l'expérience lui a démontré l'efficacité, pour séparer le métal des corps qui le rendent impropre au service exigé. (Déphosphorations).

C'est en combinant l'action de la chaleur avec celle des corps qui possèdent une plus grande affinité que le fer pour les diverses substances énumérées plus haut, que l'on parvient à faire passer la majeure partie de ces substances, soit à l'état de scories qui se séparent du fer par différence de densité ou de fusibilité, soit à l'état de gaz, qui disparaissent dans l'atmosphère.

Pour fabriquer le fer, la fonte en lingots est mise en fusion, dans de certaines proportions, sur la sole d'un four à réverbère ; là, sous l'action de la chaleur, de l'oxygène de l'air et de divers réactifs appropriés à la nature des fontes, elle est fortement brassée et dépouillée, autant que possible, des différents métalloïdes cités plus haut : tel est le but du *puddlage*. La masse spongieuse que l'on en retire, la *loupe*, est comprimée et étirée en barres qui constituent le fer *brut*, dit *puddlé*, ou de *première opération*.

Le fer contient encore des scories, du *laitier* : pour l'en débarrasser, on découpe les barres en fragments d'une certaine longueur ; ces fragments servent à former des *paquets* que l'on soumet au réchauffage, jusqu'à un degré de température suffisant pour que la compression puisse en expulser les scories, et souder, aussi complètement que possible, les barres entre elles.

Ainsi, la *trousse*, le *paquet*, c'est-à-dire l'ensemble de barres qui doivent former le rail est composé de plusieurs assises. Pour un paquet de rail à double champignon, le fer des assises inférieure et supérieure doit être dur, résistant à la compression. Quand on prépare un paquet pour rail à patin, l'assise supérieure doit être en fer dur à grain ; l'assise inférieure, celle qui

forme le patin, peut se composer de fer à nerf ; on donne à ces assises spéciales le nom de *couvertes*.

Or, d'après l'opinion d'un certain nombre d'ingénieurs, ces assises spéciales doivent être absolument fabriquées en fer corroyé, c'est-à-dir puddlé, étiré, recoupé en barres, puis mis en *paquet pour couvertes*. Ce paquet doit être réchauffé au blanc soudant, pour être étiré de nouveau et recoupé en barres qui prennent alors le nom de *couvertes*. Entre ces couvertes, on place les assises ou *mises* de fer puddlé brut, pour constituer le *paquet pour rail*.

Ces indications générales étant données, nous allons passer en revue les conditions spéciales qui étaient imposées aux maîtres de forges par les cahiers des charges :

Primitivement, les administrations de chemins de fer entraient dans tous les détails de fabrication ; leurs cahiers des charges renfermaient les maîtres de forges dans des prescriptions tellement sévères, et souvent si contradictoires, que les ingénieurs, chargés d'en appliquer les clauses, étaient obligés de passer outre, ou de rendre inexécutables les marchés contractés dans ces conditions.

Depuis, les administrations se sont efforcés de débarrasser les fabricants des prescriptions relatives au mode de fabrication, et ont substitué, à la garantie illusoire qu'elles avaient pu espérer trouver dans la rigueur des clauses de fabrication, la garantie effective du fabricant, auquel liberté était plus ou moins largement rendue dans le mode d'élaboration du métal et de composition des paquets.

Cette tendance n'a fait que s'accentuer, et depuis l'introduction de l'acier, les anciens errements ont presque totalement disparu.

En Belgique, le cahier des charges des chemins de fer de l'État stipulait simplement que les rails seraient en fer fort, provenant de minerai de première qualité (?) le fer devait être dur, bien affiné, parfaitement soudé ; mais les forges avaient toute latitude dans la préparation, la fabrication, le choix enfin du mode qui lui paraissait le plus convenable pour obtenir des rails durables et exempts de défauts.

Quelques ingénieurs, en Allemagne principalement, mais c'est la minorité, voulaient que la transformation de la fonte en fer fût conduite de telle sorte, que le puddlage produisit uniquement du fer à nerf, parce que cette variété supporte un réchauffage plus énergique que le fer à grain ; que les trousses pour rails, composées de fer puddlé, fussent corroyées au pilon pendant deux ou trois minutes, puis réchauffées pendant quinze minutes et

passées aux cylindres dégraisseur et finisseur. Le rail ainsi obtenu, composé d'une seule espèce de fer, supportant un même degré de température du rechauffage, devait présenter moins de chances de desoudure que les rails formés de barres de diverses natures. Mais l'expérience n'a pas donné raison à cette opinion, car le fer à nerf est moins pur, moins dur que le fer à grain.

La plupart des ingénieurs, en France notamment, ont donné la préférence au rail composé partie de fer corroyé, partie de fer puddlé brut, le fer corroyé devant constituer une fraction notable de la section du champignon ; et, comme cette portion du rail est plus exposée que les autres aux efforts des bandages on devait s'arranger pour qu'elle présente un fer à grain fin ; un fer dur. Le patin du rail Vignoles était généralement formé de fer nerveux que l'on était obligé d'admettre sous peine d'une augmentation considérable des déchets mais ce qui était favorable à la résistance et, par conséquent, des prix de fabrication, parce qu'au puddlage il est difficile d'éviter la production du fer nerveux, et qu'au laminage la forme du patin force le fer à s'étirer en fibres allongées.

Dans le grand-duché de Bade, les conditions imposées pour la fabrication et la fourniture des rails de composition homogène pouvaient se résumer ainsi :

Les rails seront fabriqués exactement d'après les dessins et gabarits remis au fabricant.

Les rails auront une longueur de 6 mètres (20 pieds), un poids de 224 kilogrammes avec une tolérance de 0m,003 sur la longueur et 2 % sur le poids.

On admettra néanmoins des rails de 4m,50 (15 pieds) et 5m,40 (18 pieds) de longueur, mais seulement jusqu'à concurrence de 3 % de la livraison totale.

Le fournisseur ne peut faire fabriquer les rails que dans une usine agréée par la Direction du chemin de fer, et dont les produits soient favorablement connus.

Les rails doivent être exécutés en fer de nature absolument uniforme et d'excellente qualité, travaillé deux fois à chaude soudante et d'une texture nerveuse et pure.

Les rails seront obtenus au laminage avec des faces unies et propres, sans ondulations ni défauts d'étirage ou corrections par mises rapportées sans traces de soudure, fentes ou foliations. Ils seront parfaitement dressés dans leur longueur, leurs extrémités coupées d'équerre avec l'âme, la tranche rigoureusement saine et unie. Les rails seront percés à chaque extrémité, conformément aux dessins remis, de deux trous dans l'âme, destinés à rece-

voir les boulons d'éclisses, et de deux entailles rectangulaires dans le patin, pour loger les tiges des crampons. Ces trous et entailles seront bien d'équerre, propres, unis et sans bavures. Chaque rail sera muni de l'estampille de l'usine.

La vérification des rails et la surveillance de la fabrication s'exercent dans l'usine par un délégué de la Direction des chemins de fer, sans autres frais à la charge du fournisseur, que ceux résultant de la main-d'œuvre et des dispositions nécessaires aux épreuves, au classement et à la marque des rails.

La réception proprement dite et le pesage ont lieu à l'une des stations de la ligne, aux frais de l'Administration du chemin de fer.

Les rails reconnus par le délégué acceptables à l'usine y sont marqués d'une estampille de contrôle et ainsi certifiés propres à être expédiés au lieu de livraison ; mais la réception réelle n'est définitivement effectuée qu'après de nouvelles vérifications et pesées. Si le fournisseur a des observations à faire sur la détermination du poids des rails livrés, il doit les présenter lors du pesage, car ultérieurement elles ne seraient pas prises en considération. Si les rails sont reconnus défectueux au lieu de livraison, le fournisseur doit dans un délai de quatre semaines au plus, les remplacer par d'autres rails sans défauts, sinon sa livraison est considérée comme incomplète et l'Administration a le droit de mise en demeure et de se pourvoir aux frais du fournisseur en retard.

Le fournisseur est responsable de la bonne qualité des rails pendant deux ans à partir de la fin de la livraison ; en vertu de cette garantie, il doit remplacer à ses frais tous les rails qui pendant ce temps deviendraient impropres au service par suite de défaut de matière ou de vice de fabrication.

Ainsi en exceptant la prescription de composer le rail en fer martelé et étiré deux fois, le cahier des charges laisse toute liberté de fabrication au fournisseur.

Quant aux épreuves à faire subir aux rails, latitude entière est donnée au délégué de l'Administration. Les essais effectués par les ingénieurs d'un certain nombre de chemins de fer allemands consistaient alors à soumettre le rail posé sur deux appuis distants de (3 pieds) $0^m,90$, à une pression de 10.000 et même 14.500 kilogr. sans flèche permanente ou avec une flèche permanente de $0^m,100$ sans altération, retourné, le champignon en bas, le rail devait pouvoir prendre sans altération une flèche permanente qui allait jusqu'à $0^m,078$ et même atteignait $0^m,100$.

Comme mesure préventive, l'Administration du chemin de fer badois se réservait la faculté de refuser la soumission des fournisseurs dont elle n'aurait pas eu lieu d'être satisfaite antérieurement.

Rails de chemins de fer français. — Les prescriptions des cahiers des charges en France, à la même époque, étaient plus minutieuses. Indépendemment des indications générales concernant la longueur, le poids, les marques, etc.; elles comprenaient, comme on va le voir, les détails de fabrication les plus circonstanciés.

Prenant la matière à partir des fours à puddler, le cahier des charges prescrit la *classification* des fers ébauchés en trois catégories : fer à grain, fer métis (grain mélangé de nerf), fer à nerf. En tous cas, il exige que le fer puddlé soit de bonne qualité, travaillé avec soin, convenablement épuré, les bouts écrus affranchis et les barres bien dressées.

Dans les paquets pour *corroyés*, autrement dit pour *fers à couvertes*, il ne doit entrer que du fer à grain, et le sens de laminage de ces paquets (c'est-à-dire la largeur des assises étant parallèle ou perpendiculaire à l'axe des appareils étireurs) est prescrit par l'ingénieur de la Compagnie. Les barres doivent avoir la longueur du paquet. La largeur des barres est telle que les joints se croisent sur toute la longueur, mais chaque assise doit avoir une épaisseur régulière.

Ce paquet réchauffé est étiré et recoupé en barres parfaitement affranchies, ayant la longueur et la largeur du paquet pour rail. C'est entre ces barres que l'on place les deux autres catégories de fer en ayant soin d'interposer entre le fer à grain et le fer à nerf, le fer métis, qui, participant des deux natures, se soude mieux à l'un et à l'autre.

Pour être sûr d'obtenir une compression suffisante des paquets, le cahier des charges en prescrit les dimensions transversales.

La trousse pour rails se compose donc, en haut et en bas, de fer corroyé représentant en poids le tiers de la masse totale, et dans l'intervalle, le fer puddlé brut, métis ou à nerf. Comme nous l'avons dit, les barres pour couvertes doivent avoir toute la longueur et toute la largeur du paquet. Celles de l'intérieur peuvent être en deux ou trois largeurs pourvu que les joints soient bien croisés; pour la longueur, on tolère l'introduction de barres en deux pièces, dans le milieu du paquet, pourvu que le bout le plus court ait au moins 0m,30 et les extrémités bien affranchies se touchent en laissant le moins de vide possible dans l'intérieur. Enfin, les assises doivent avoir une épaisseur régulière. Les dimensions des paquets et les dispositions des appareils étireurs doivent être soumises à l'approbation de l'ingénieur de la Compagnie.

Les trousses à rails à base large du chemin de fer de Paris-Lyon-Méditerranée (fig. 226) avaient 0m,22 de hauteur et 0m,20 de largeur, vides non

compris, et une longueur de $1^m,10$. Le poids du paquet doit dépasser le poids du rail fixé de 40 kilogrammes environ, selon le type du rail.

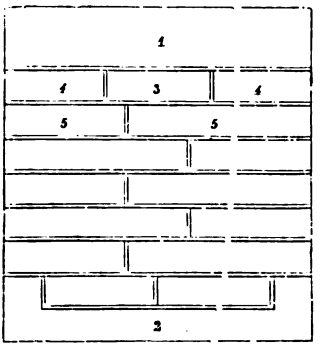


Fig. 226. — Trousse pour rail à base large (P.-L.-M.) 1/5.

Les rails du chemin de fer du Midi, fabriqués dans le pays de Galles, provenaient de paquets (fig. 227) qui ont $0^m,22$ de largeur, $0^m,25$ de hauteur, $5^m,95$ de longueur, et composés de neuf assises.

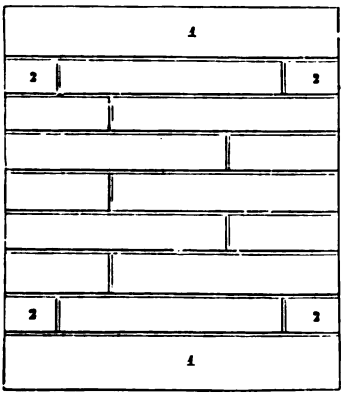


Fig. 227. — Trousse pour rail à double champignon (Midi) 1/5.

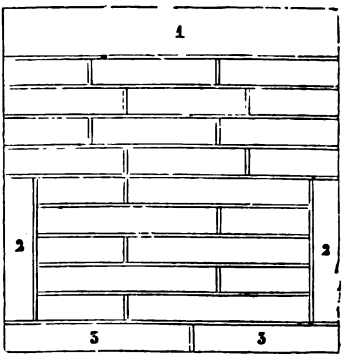


Fig. 228. — Trousse pour rail à base large (Nord) 1/5.

Les mises inférieure et supérieure (1,1) forment les couvertes ; immédiatement en-dessous d'elles viennent deux barres placées à l'extérieur pour empêcher les criques de se produire sur les faces latérales des champignons.

Les trousses du rail Vignoles du Nord (fig. 228) avaient en largeur $0^m,21$, en hauteur $0^m,22$, et en longueur $0^m,90$; elles comprenaient :

Une couverte (1) de $0^m,36$ d'épaisseur en fer à grain corroyé, obtenue avec des mises laminées *verticalement*. Cette couverte constituait le champignon.

Deux assises de fer à nerf (2,3), l'une verticale, l'autre horizontale, pour

former le patin; au-dessus de cette dernière, une assise de fer métis; enfin l'intervalle est rempli par les assises de fer à grain puddlé.

Travail des paquets pour couvertes. — La plupart des cahiers des charges ne prescrivaient rien de spécial sur cette opération préliminaire. La Compagnie du Midi avait, depuis 1861, imposé à ses fournisseurs un mode d'étirage de ses paquets pour couvertes qui est ainsi décrit : les loupes provenant du travail de puddlage conduit en vue de produire du fer fort seront martelées sous le pilon, de manière à recevoir la forme de prismes qui seront réchauffés et passés au laminoir.

La Compagnie du Nord, comme nous l'avons dit, faisait choisir pour la couverte les fers qui présentent le grain le plus fin. Les barres choisies, mises en paquet et réchauffées, étaient laminées, en ayant soin de conserver à la largeur des mises le sens vertical pendant l'étirage du paquet.

La couverte se trouvait ainsi composée d'une bande de $0^m,22$ de largeur sur $0^m,035$ à $0^m,040$ d'épaisseur formée par la soudure de mises dont la largeur forme l'épaisseur de la couverte.

Travail des paquets pour rails. — Le profilage des paquets se fait en une ou deux opérations séparées. Les cahiers des charges des chemins de fer du Nord, de Lyon et de l'Ouest, ne prescrivaient rien de spécial à ce sujet. Ils exigeaient simplement que le laminage fut aussi parfait que possible, et rebutaient tous les rails mal soudés, pailleux, criqués ou rompus dans leurs fibres. Le cahier des charges du chemin de fer du Midi demandait l'application à l'étirage des paquets pour rails, de la méthode du travail en deux chaudes employée dans le Derbyshire (Rotterham) et en Allemagne (Phénix).

168. — Rails en acier. — Les procédés employés pour la fabrication de l'acier sont assez nombreux ; les trois suivants servent couramment dans les usines à rails.

1° Le procédé Martin-Siemens;

2° Le procédé Bessemer;

3° Le procédé de déphosphoration Thomas et Gilchrist.

Nous passerons en revue cependant les anciens procédés de fabrication.

169. — Rails soudés en acier puddlé. — Antérieurement l'affinage de la fonte au petit foyer produisait la plus grande partie de l'acier employé par l'industrie, mais son prix de revient élevé devait engager les métallurgistes à en rechercher la réduction dans les errements qui avaient conduit la fabrication du fer aux procédés économiques de la méthode anglaise.

Les premiers essais pour le puddlage de l'acier datent de 1838; mais M. Stengel, directeur des forges de Lohe près Siegen (Prusse Rhénane), qui tentait cette opération, ne put parvenir à la rendre régulière. C'est en 1847, dans les usines de Limbourg, puis dans les forges voisines du pays de Siegen que le puddlage de l'acier devint l'objet d'une fabrication régulière et suivie de l'autre côté du Rhin.

En Belgique l'établissement de Seraing, en France à l'usine de Hombourg (Moselle) et les forges du Creusot appliquèrent de 1850 à 1855, le nouveau procédé dont les produits figuraient avec avantage à l'Exposition universelle de 1855. A partir de cette époque, le puddlage prit une grande extension et fournit aux chemins de fer des quantités considérables d'acier ou prétendu tel destiné à former les pièces soumises à de grandes fatigues.

Le puddlage de la fonte pour acier ressemble beaucoup à l'opération pour le fer, mais il est plus difficile à diriger : température plus élevée, brassage constant et maintien sur le métal d'une couche de scories qui le préserve d'une décarburation trop rapide, addition de matières contenant du manganèse et du silicium dont les oxydes augmentent la fusibilité des scories et améliorent sensiblement les produits en enlevant le plus possible du soufre et du phosphore que l'oxygène du four n'a pas séparés du fer.

Comme il n'était pas possible d'obtenir couramment au puddlage, des loupes de poids suffisant pour constituer un rail entier, il fallait de même que dans la fabrication des rails en fer, composer le rail en acier puddlé de mises superposées.

Aussi les résultats fournis par l'emploi des rails en acier puddlé n'étaient-ils pas tous également satisfaisants. Sur vingt-quatre directions de chemins allemands qui, en 1868, avaient mis en service depuis plusieurs années plus de 200 000 mètres de voies en acier puddlé, trois directions seulement qui n'avaient employé ce produit que dans les changements de voie s'en déclaraient satisfaites : cinq directions formulaient des plaintes assez vives sur son emploi, etc.

Parmi les lignes qui ont les premières appliqué de l'acier puddlé dans les voies courantes, il faut citer le Kaiser-Ferdinand-Nord-Bahn. Cette Compagnie trouvait dans l'acier puddlé une matière durant plus que le fer et résistant mieux à la rupture que l'acier fondu : question de provenance.

Quant aux inconvénients qu'on reprochait à l'acier puddlé, c'étaient l'inégalité de résistance et la tendance au dessoudage des mises.

170. — Rails massifs en acier fondu. — La première fabrique

d'acier fondu fut établie à Scheffield, par Huntsmann, en 1740; pendant près d'un siècle l'Angleterre conserva le monopole de cette fabrication réservée jusqu'en ces derniers temps à la coutellerie fine, aux armes et autres menus objets pesant au plus quelques kilogrammes. En 1851, M. Krupp, d'Essen, exposa à Londres, un premier lingot d'acier fondu pesant 2 250 kilogrammes, et en 1855 à Paris un autre lingot de 5 000 kilogrammes. Et depuis, des progrès immenses ont été accomplis.

Ces révolutions successives subies par la fabrication de l'acier fondu ont permit aux ingénieurs de chemins de fer de recourir à ce produit devenu abordable et par son prix et par les dimensions des pièces, deux obstacles jusqu'alors infranchissables.

L'acier fondu proprement dit provient de la fusion, dans un creuset en terre réfractaire ou en plombagine, de l'acier naturel ou de l'acier cémenté, ou du fer de bonne qualité mélangé à 2 % de poussière de charbon de bois.

On commence par briser les barres d'acier en petits morceaux dont on fait un triage très minutieux et que l'on classe de manière à ne fondre ensemble que des pièces de même texture, de même qualité, ce qui se reconnaît au grain et à la couleur de la cassure.

Les creusets chargés de ces fragments sont chauffés au blanc dans des fours dont la voûte se trouve au niveau du sol de la fonderie. Au bout de trois à quatre heures, la fusion est opérée; on retire le creuset du four et on en coule le contenu dans des moules en fonte ou lingotines.

Les lingots sont réchauffés, puis soumis à un fort martelage, nécessaire pour donner du corps à l'acier, faire disparaître les soufflures. Lorsqu'il s'agissait de rails, les lingots étirés étaient réchauffés de nouveau et passés au laminoir. On conçoit d'après ces courtes observations, combien l'acier fondu au creuset devient cher et par conséquent impossible à utiliser pour la voie courante des chemins de fer.

171. — Rails massifs en fonte affinée. — Les rails en fer périssent par deux causes dominantes: 1° Le manque de dureté; 2° le défaut de soudure des mises (167).

Sur les lignes à grand trafic ces rails durent peu.

Les rails en acier puddlé pouvaient présenter un degré de dureté convenable, mais leur composition en mises superposées les exposait à l'exfoliation.

Le problème que les novateurs en métallurgie se sont efforcés à résoudre consistait à débarrasser mécaniquement et sans l'intervention de la main de l'homme, la fonte du carbone et des autres corps qui l'accompagnent; à

effectuer cette opération dans des conditions telles que les réactions se passent en conservant l'élévation de température nécessaire à l'élaboration de la matière, et que le produit puisse se couler en lingots de poids suffisant pour en tirer les pièces que l'on veut obtenir ; à employer pour cette fabrication des matières et des méthodes relativement assez peu coûteuses pour rendre les produits abordables à l'industrie, etc.

Diverses solutions ont été proposées en vue de substituer à l'acier fondu au creuset une matière qui réunisse les principales propriétés énoncées ci-dessus et dont le prix n'eut rien d'excessif.

De toutes ces solutions, celle de M. Bessemer est la première en date, en application industrielle et en importance.

Dans son premier brevet, pris en 1855, le célèbre métallurgiste se proposait de convertir toute fonte en fer malléable pendant qu'elle est liquide, et de lui conserver sa fluidité, sans addition de combustible, de manière à couler dans des lingotières le métal réduit. Le procédé reposait, à son origine, sur l'insufflation dans le bain, de l'air et de la vapeur d'eau.

Après de nombreuses transformations (1) M. Bessemer et ses cessionnaires se sont arrêtés au procédé suivant :

La fonte, provenant directement du haut-fourneau ou d'une seconde fusion, est versée liquide dans un creuset oscillant autour d'un axe horizontal qui passe très près de son centre de gravité.

De nombreuses tuyères pénétrant dans la partie inférieure du creuset amènent dans la masse fluide le vent lancé par une machine soufflante.

L'air, en arrivant dans le métal fondu, se divise en innombrables bulles qu font bouillonner, boursouffler le bain et produisent une violente agitation:

L'oxygène de l'air attaque d'abord le silicium, puis le carbone, et élève la température du métal à un degré inconnu jusqu'alors.

Du creuset s'échappent des torrents de flammes rougeâtres d'abord, puis violettes, ensuite bleues et enfin blanches.

Durant cette élaboration, le silicium est transformé en acide silicique, et passe dans les scories qui recouvrent le bain, le carbone en oxyde de carbone et en acide carbonique entraînés dans les flammes. Lorsque celles-ci deviennent blanches, chargées d'étincelles dont les dimensions se sont successivement réduites et qui vers la fin de l'opération prennent une allure pétillante, la fonte est transformée en fer fondu.

(1) M. Bessemer a pris plus de quatre-vingt brevets d'invention, d'addition, de perfectionnements, etc.

Si l'on veut se contenter de fer simplement décarburé, on peut couler le métal dans l'état où le laisse cette première élaboration.

Si l'on a en vue la production d'un métal présentant les caractères de l'acier notamment la dureté, il faut, quand cette première période est terminée, ajouter au métal liquide une certaine proportion de fonte aciéreuse, contenant seulement du carbone et du manganèse et le moins possible d'autres substances; c'est la fonte miroitante, le *spiegeleisen*, que l'on choisit à cet effet. La teneur connue de cette fonte en carbone permet de doser pour ainsi dire chimiquement le carbone qui doit rester dans ce mélange.

Selon la proportion plus ou moins élevée de Spiegeleisen ajouté, on obtient l'acier ou métal Bessemer, à divers degrés de dureté; on le retire en renversant le creuset dont le contenu passe dans une poche de coulée et de celle-ci dans les lingotières.

Pour transformer en barres les lingots ainsi obtenus, on les chauffe avec précaution, progressivement afin que la chaleur se répande également dans toute la masse et ne dépasse pas un certain degré; car trop chauffé, l'acier devient tendre, cassant. Les lingots, parvenus à la température voulue, passent alors sous le marteau, puis aux laminoirs ordinaires. Il n'y a qu'une simple précaution à prendre; c'est de laminer lentement, afin de ne pas détériorer les cylindres.

Notons encore un point important : pour obtenir des lingots sans soufflures — les soufflures occasionnent la destruction des rails, — on doit couler le métal dans des lingotières disposées pour permettre d'exercer sur la pièce une pression énergique avant sa solidification.

Emploi du spectroscope. — Il y a, durant l'affinage de la fonte au creuset Bessemer, un moment intéressant : celui où il faut arrêter l'action du vent. L'allure et la couleur de la flamme sortant du col du creuset donnent de très bonnes indications; cependant, ce moyen empirique paraît insuffisant et quelques métallurgistes se sont efforcés de lui substituer un guide plus scientifique.

Le spectroscope, convenablement disposé, dénote, pendant l'affinage, des raies noires qui disparaissent presque toutes à la fois lorsque la décarburation est complète, et cette disparition est le signal de l'arrêt du vent. Le spectroscope est employé maintenant d'une manière courante.

Quand les fontes à traiter possèdent une constitution sensiblement uniforme, les agents de l'usine se mettent assez promptement au courant de la

marche la plus convenable à suivre, et, dans ce cas, l'allure étant régulièrement établie, le spectroscope paraît inutile ; mais lorsqu'on change de nature de fonte, et par conséquent d'allure, le spectroscope peut rendre et rend de grands services.

Si l'approvisionnement des fontes à convertir est convenablement emmagasiné comme composition moyenne, le traitement Bessemer, ainsi dirigé d'après les vrais principes de la métallurgie nouvelle, offre des garanties d'uniformité de résultats sinon plus, du moins aussi complètes que celles fournies par toute autre méthode d'élaboration.

En vue d'utiliser les chutes ou bouts des rails coupés à la longueur prescrite, les fabricants remettent ces bouts dans la poche de coulée, profitant de l'élévation de température du bain pour faire fondre ces chutes et diminuer ainsi la proportion de déchets, Or, ces morceaux ajoutés, n'ayant pas la même température et la même composition que le bain, se marient souvent mal avec le métal fondu, et donnent des rails qui, sur la voie se séparent en longues lanières de plusieurs décimètres de longueur, notamment sur les portions de rails exposés aux chocs, les pattes de lièvre de croisement, par exemple.

Il est donc indispensable que l'action du laminage sur le lingot d'acier soit aussi énergique que possible afin d'assurer la soudure de toute la masse.

Le poids du lingot à laminer et ses dimensions transversales sont déterminés naturellement par le profil du rail, sa longueur et son poids. Il convient d'ajouter environ $1^m,20$ à $1^m,30$ à chaque barre laminée afin de pouvoir affranchir chaque extrémité aussitôt après le passage du laminoir.

Puissance de production. — On effectue l'affinage Bessemer sur des masses de fonte dont l'importance varie avec la puissance de l'usine de 3.500, 7.000, 10.000 kilogrammes et plus en une opération, et chaque creuset peut faire plus de quatre opérations.

Modifications de l'appareil Bessemer. — Au lieu d'employer le creuset mobile, les ingénieurs suédois ont appliqué la méthode d'affinage dans un four fixe. L'appareil suédois se compose de deux étages : l'inférieur, constitué par une cuve en fonte formant portevent ; l'étage supérieur, composé d'un cylindre, en tôle, garni de briques réfractaires, et fermé par une voûte percée au centre d'une ouverture carrée, surmontée d'une cheminée inclinée.

Le vent arrive par le pourtour de la cuve en fonte et reçoit par la disposition des tuyères une direction oblique par rapport aux diamètres de la cuve.

ce qui donne au bain une agitation suffisante pour renouveler le contact de toutes les molécules du bain.

La coulée s'effectue en perçant un obturateur analogue à celui d'un cubilot.

Les phénomènes de la conversion sont les mêmes que dans le creuset mobile, mais la conduite de l'opération est plus facile, le rendement plus élevé et les frais d'établissement moindres. Par contre, l'appareil mobile a l'avantage de permettre l'arrêt immédiat de l'opération s'il arrive un accident, et surtout l'addition des fontes recarburantes et manganésifères qui donnent du corps et de la qualité à l'acier.

172. — Affinage des fontes impures. — Dans le procédé Bessemer, l'expulsion du soufre et du phosphore des fontes traitées n'a pas le temps de s'effectuer, l'affinage étant trop rapide. Aussi, le métal provenant des fontes de cette catégorie renferme ces deux substances à fortes proportions et ne remplit que très imparfaitement les conditions demandées à l'acier.

La mauvaise qualité des fontes rend le procédé Bessemer inefficace et quand on a voulu le leur appliquer, on n'y est parvenu qu'à l'aide de fortes additions de fonte spéciale d'un prix élevé.

Les métallurgistes se sont préoccupés de rendre plus générale l'application du procédé Bessemer en recherchant les moyens de préparer économiquement les fontes impures, et de les rendre propres à passer au creuset d'affinage.

Partant du même ordre d'idées que les autres métallurgistes, à la suite de Cort, l'inventeur du puddlage de la fonte, M. Bessemer a proposé de faire subir aux fontes impures, une sorte de mazéage, de finage dans un four à réverbère, dont la sole peut osciller autour d'un axe horizontal. Le chauffage du four se faisait par des gaz lancés sur le bain, à l'aide d'appareils analogues à celui du convertisseur ordinaire. L'ingénieux inventeur propose par ce moyen de purifier la fonte, de la débarrasser des métalloïdes que l'affinage au creuset n'enlève pas.

M. Nystrom emprunte à M. Bessemer le principe de l'élaboration de la fonte, mais il conserve, du procédé de puddlage ordinaire, l'action dissolvante exercée par les scories sur le soufre et le phosphore.

Dans la fabrique d'acier de Gloucester, près Philadelphie, M. Nystrom coule la fonte dans un cylindre horizontal, suivant son axe.

Le vent souffle à la surface du bain qui se recouvre d'une couche de scories.

En vertu de la haute température du bain, le métal est en ébullition constante ; le soufre et le phosphore se combinent avec l'oxygène dans la scorie, leurs oxydes sont éliminés par l'alumine et la chaux du flux, à la surface duquel ils se volatilisent.

Ce procédé marche plus lentement que le procédé Bessemer pur, mais l'allure peut se régler à volonté, et ses produits extraits de fontes impures sont satisfaisants.

M. Galy-Cazalat a proposé d'affiner la fonte à l'aide de l'air et de la vapeur d'eau, dont les éléments devraient se combiner avec le carbone et les autres métalloïdes rendus ainsi volatiles ; mais l'introduction de la vapeur d'eau, même surchauffée, produit un abaissement de température qui arrête les réactions.

M. Bérard proposa ensuite d'affiner la fonte sur la sole d'un four à réverbère chauffé au gaz. On insufflerait alternativement de l'air pour élever la température, et des gaz hydrocarbonés pour enlever le soufre et le phosphore. Pour tirer partie des fontes de toutes qualités l'habile directeur des usines de Ebbw-Vale (pays de Galles), M. Parry les a soumis d'abord à un puddlage partiel qui les débarrasse d'une grande partie du soufre et du phosphore. Les massiaux, ainsi produits, passent alors dans un cubilot où, en présence, d'un coke pur et de castine en excès, ils se transforment en fonte contenant 2 à 3 % de carbone, qui, affinée dans le creuset Bessemer, donne sinon de l'acier, du moins du fer fondu de bonne qualité pour rails.

Le procédé Parry donne aussi la possibilité d'utiliser les bouts de fer de toute provenance, en les recarburant au cubilot.

Lorsqu'on met en présence de la fonte liquide du fer doux ou du fer oxydé, on donne naissance à une réaction dans laquelle le fer, en prenant une portion de carbone, se transforme, avec toute la masse, en acier, si les matières en présence sont de bonne qualité.

Cette transformation indiquée déjà par Réaumur, en 1722, a été appliquée industriellement par M. Martin, Maître de Forges à Sireuil, qui a pris en 1865, un brevet d'invention pour la fabrication de l'acier et du métal homogène, basée sur la réaction du fer sur la fonte, opérée dans un four à réverbère, avec le chauffage Siemens.

De même que le procédé Bessemer, le système de M. Martin s'applique à l'affinage complet de la fonte et à la recarburation par l'addition de fonte pure, comme à l'affinage incomplet de la fonte. Il a d'ailleurs sur son concurrent, l'avantage de pouvoir être dirigé au gré de l'opérateur, et par con-

séquent de fournir un produit plus épuré, puisque le bain peut rester soumis à la réaction des scories aussi longtemps que l'exige l'affinage. Il permet de plus, l'addition dans le bain de fonte, de minerais riches et purs dont l'oxyde brûle le carbone, addition que n'admet pas le creuset Bessemer.

Cependant, le procédé Martin acide ne fournit pas plus que les autres procédés, de l'acier avec toute espèce de fonte; mais il peut rendre de grands services en permettant, comme le procédé Parry, d'utiliser des fers, et surtout de vieux rails dont l'écoulement n'est pas régulièrement facile.

Si les matières employées contiennent du phosphore il n'est pas possible de l'éliminer complètement, et par conséquent les aciers produits sont des aciers doux, car le phosphore ne commence à brûler qu'après le silicium et le carbone. Si on pousse l'opération de façon à extraire le phosphore, il faut ensuite recarburer par l'addition de fontes manganésifères, et dans ces conditions, on ne peut arriver qu'à une diminution importante de la proportion de phosphore, mais il en existe toujours dans l'acier.

La présence du phosphore dans un acier pour rail, jointe à une teneur élevée de carbone, produit des aciers durs, mais cassants, qui doivent être rejetés.

Les matières fortement oxygénées, et facilement décomposables, peuvent aussi servir à décarburer les fontes. Comme tels, les azotes se prêtent à cette réaction, et, dans les mains de M. Heaton, directeur des usines de Langley-Mill, près de Nottingham, ces produits servent à l'affinage des fontes de Cleveland, connues dans le monde métallurgique, comme les fontes les plus chargées de soufre, et surtout de phosphore.

Le convertisseur de Langley-Mill se compose d'un cubilot sans soufflerie. Le creuset, qui repose sur un chariot, est pourvu à sa base d'une chambre cylindrique dans laquelle on dépose une quantité déterminée d'azotate de soude, recouverte par une plaque de fonte, percée de trous. La fonte, provenant d'un cubilot ordinaire, est versée dans le convertisseur, et élève la température de l'azotate qui entre en décomposition. Le bain émet des vapeurs nitreuses dont l'abondance va en croissant jusqu'au moment où se produit une sorte de déflagration. Après quelques minutes, l'acide azotique ayant fourni tout son oxygène au carbone de la fonte, on retire le chariot du cubilot, et son contenu est coulé en moules, le métal se séparant des scories liquides par différence de densité.

Le lingot peut être réchauffé au réverbère, laminé ou forgé. On peut aussi le refondre au creuset, avec addition de Spiegeleisen ou d'oxyde de manganèse et de charbon de bois.

M. Bessemer s'est aussi occupé de l'application des nitrates à la métallurgie, mais seulement à titre de réactif, pour un affinage partiel. Dans cet ordre d'idées, il a d'abord remplacé la boîte à vent de son creuset par une boite remplie de nitrate, appliquée au creuset, au moment où il va recevoir la fonte liquide.

M. Bessemer a aussi proposé de lancer, par les tuyères ordinaires, dans le bain, un mélange d'air et de poussière de nitrate.

Plns tard, il a dirigé les jets de nitrate liquide, non pas par le fond, mais latéralement, par des tuyères obliques aux diamètres du creuset, de manière à donner au bain un mouvement giratoire, comme dans l'appareil de Nischne-Tagilsk, en Russie.

Puis il a fait breveter un nouveau creuset, destiné à effectuer, dans le même appareil, un premier, puis un deuxième affinage. Le creuset à deux fins présente, vis-à-vis de l'ouverture de chargement, une première cavité percée dans le fond de tuyères à vent, et latéralement de trous pouvant servir à l'introduction des réactifs dans le bain ou d'un ringard. Un revêtement analogue, à celui des soles de fours à réverbère, garnit toute la partie de cette cavité en contact avec la fonte. Lorsque la fonte liquide est amenée dans cette cavité, les tuyères de la boîte à vent sont dégagées, et lancent alternativement de l'air et de la vapeur d'eau. Sous ces deux réactifs, le métal se décarbure, et en ajoutant au bain, à travers les ouvertures latérales, des battitures, du minerai, du peroxyde de manganèse, etc., etc., on peut opérer sur le bain à la manière du puddlage.

Quand on juge l'opération suffisamment avancée, on ramène le creuset à la position initiale de changement, pour introduire dans le bain une dose de fonte pure et manganésifère. On relève le creuset, mais on n'arrête pas la masse à la première cavité; on la fait passer dans la seconde cavité munie de tuyères de fond, et qui fait avec la première un angle de 70°. Dans cette seconde cavité, le métal est décarburé et transformé en fer fondu ou en acier par le procédé ordinaire.

M. Gjerss, de Middlesboorough, transforme les fers provenant de toutes espèces de fontes, en les refondant au contact d'un mélange de goudron, de minerai de fer, de minerai de manganèse et de chaux.

Le tout est placé dans un grand creuset situé au centre d'un four chauffé par le régénérateur Siemens. Le fer se carbure et coule, transformé en acier, par deux trous ménagés au fond du creuset, sur la sole du four, où un bain de scories préserve l'acier du contact des flammes.

Avant de couler l'acier déposé sur la sole où il s'affine, on peut prendre des échantillons et juger de la qualité, la corriger, au besoin, par l'addition de fonte ou de fer, comme dans la méthode Martin.

Procédé Thomas-Gilchrist. — En 1878, MM. Thomas et Gilchrist, en modifiant la garniture de la cornue Bessemer, ont pu obtenir, avec des fontes phosphoreuses, des aciers de bonne qualité, extra-doux et durables.

Les garnitures basiques employées ont d'abord été faites en briques magnésiennes, fabriquées par Émile Muller, à Ivry-sur-Seine; puis Gruner, professeur à l'École des Mines, à Paris, a recommandé l'emploi de garnitures dolomitiques.

Nous avons vu que le procédé Bessemer, à garniture acide, ne permettait pas d'utiliser les fontes phosphoreuses, car la silice des parois, s'emparant des oxydes de fer et de manganèse, empêche la formation d'un phosphate stable. Au contraire, si la paroi est basique, et si on introduit une certaine quantité de chaux, la silice produite au début de l'opération décompose tous les phosphates, met l'acide phosphorique en liberté et forme une scorie basique; l'acide phosphorique, subissant l'action réductrice de l'oxyde de carbone, s'unit de nouveau au fer, et, au moyen du surboufflage, on parvient à le faire passer dans la scorie, ainsi que le manganèse. Pour toutes ces raisons, les rails mixtes ont dû faire place rapidement aux rails d'acier.

	Dolomie	
	brute	calcinée
Silice	1 à 2	2 à 3
Chaux	29	56 à 57
Magnésie	20	37 à 34
Alumine et oxyde de fer	2 à 4	3 à 6
Matières volatiles	47	»

Le revêtement est formé d'un frisé de goudron et de dolomie calcinée, mêlé intimement. Celui des parois peut servir pour 145 à 160 opérations; mais celui du fond ne dure guère que pour une quinzaine d'opérations.

Procédé Martin Siemens basique. — Le succès de la garniture basique de MM. Thomas et Gilchrist l'a fait immédiatement essayer au four Martin-Siemens; d'autre part, MM. Valton et Rémaury ont fait appliquer avec succès la garniture neutre plutôt que basique en fer chromé, qui permet d'obtenir des aciers soudants d'une grande douceur.

La sole du four Martin est formée, soit en chaux, soit en dolomie (carbonate double de chaux et de magnésie), soit en manganèse; la voûte, ainsi que les carneaux d'air et de gaz, sont construits en briques de silice, et on établit les pieds droits souvent en briques de magnésie.

L'intervention de la paroi dans le traitement de la fuite entraîne naturellement sa destruction rapide, et, en général, on n'atteint avec peine que 100 opérations sans arrêt. On s'oppose à une destruction trop rapide en répandant sur la sole de la castine ($CaoCo^2$) en petits morceaux, qui se transforme en eau par la cuisson.

Le four basique Martin-Siemens peut traiter des fontes contenant 3 % de phosphore; mais il est essentiel que la proportion de soufre soit inférieure à 1/2 %; le silicium dessiccaté ne doit pas non plus atteindre 2 %.

Quant aux riblons, ils peuvent être de toutes sortes, et c'est là le principal avantage de ce procédé.

La proportion de riblons et de fontes peut être très variable, et présenter, soit un excès de l'un sur l'autre, soit égalité de proportions; mais il convient de déterminer, avant l'opération, la composition chimique des éléments entrant dans la composition de la charge, afin de bien proportionner les quantités de riblons, de fontes et de chaux. Cette dernière matière doit être mise en effet en quantité variable, suivant la teneur en phosphore, soufre, silicium, etc., etc., des impuretés à éliminer.

On détermine aussi la proportion de fuites manganesées à introduire dans la masse avant la coulée, en vue de donner à l'acier la teneur en carbone et en manganèse correspondante à la qualité recherchée, suivant la quantité de laitier et l'état d'oxydation du fer. Pour travailler économiquement, il importe d'éviter les oxydations inutiles du fer, et par suite de diminuer ainsi le déchet qui varie dans d'assez grandes proportions.

Indiquons, pour mémoire, que les laitiers phosphoreux, résidus de ce traitement, trouvent leur utilisation en agriculture.

173. — Rails mixtes. — Nous comprenons sous ce titre les diverses espèces de rails présentant au champignon un métal dur et persistant, et du fer doux dans les autres parties du rail. On peut classer les rails mixtes en rails à *couverte cémentée*, rails à *couverte d'acier soudé*, rails à *couverte d'acier rapportée*.

Rails à couverte cémentée. — L'application de la cémentation au matériel de chemins de fer remonte déjà loin. Dès 1852, plusieurs compagnies avaient fait l'essai de pièces de changements et croisements de voies, de bandages de roues en fer cémenté suivant les procédés Coutant et Vorces.

La cémentation appliquée à des fers de qualité probablement défectueuse, n'eut pas de succès pour les appareils de la voie, tandis qu'utilisée pour les bandages fabriqués en fer de bonne qualité, elle s'est continuée longtemps,

rendant des services par l'augmentation de durée de cette partie du matériel roulant.

On sait qu'en exposant le fer en contact avec un mélange de charbon de bois et d'autres matières plus ou moins utiles, telles que le carbonate de soude, à une température rouge, et pendant un nombre de jours d'autant plus grand qu'on veut obtenir un effet plus marqué, le fer absorbe une certaine quantité de carbone et prend la dureté de l'acier.

L'emploi de barres-éprouvettes permet de suivre la marche de l'opération et de l'arrêter quand la cémentation a atteint l'épaisseur voulue.

Les résultats obtenus ont été fort peu comparables, ainsi certaines lignes allemandes connues, Leipzig à Dresde, l'Ouest Saxon, la Basse-Silésie, ont eu un assez grand nombre de rails écrasés dans la deuxième et la troisième année de la garantie, tandis que l'Elisabeth-Bahn n'a signalé aucune avarie après quatre ans et demi d'usage des rails fabriqués dans la même usine.

Rails à couverte d'acier soudé. — La fabrication de ces rails n'exige rien de particulier qu'une précaution dans la disposition des mises qui doivent se souder, et qu'une grande attention dans le réchauffage des paquets.

Lors des premiers essais de cette fabrication, on choisissait l'acier puddlé par la couverte. D'après les indications fournies à la conférence de Munich, en 1868, le nombre de kilomètres de voies construites en rails de cette catégorie s'élevait alors à 244, répartis entre vingt-une administrations. Sur ce nombre, sept lignes s'étaient déclarées satisfaites de leur emploi; par contre, sept administrations avouèrent avoir éprouvé des mécomptes. Quant aux autres lignes, le pen de durée des essais ne leur permettait pas d'émettre une opinion.

Le défaut signalé comme le plus fréquent, était le manque de soudure dans la partie supérieure de la couverte.

L'acier fondu a aussi servi à former la couverte des rails mixtes, mais pour des essais très restreints.

Trois lignes seulement l'ont employé : le chemin de Basse-Silésie, l'Est Prussien et le chemin de Saarbruck dans la gare Saint-Jean.

Manque de dureté du champignon; tel a été le défaut principal de ces rails, signalé à la conférence de Munich.

L'acier Bessemer, enfin, a servi aussi à la fabrication en question.

M. Verdié, à Firminy, fabriquait également des rails spéciaux à couverte d'acier, en coulant dans une lingotière renfermant une barre de fer destinée à constituer la partie inférieure du rail une quantité d'acier fondu suffisante

pour former la couverte du champignon du rail. Même procédé était suivi par la fabrication des bandages mixtes, et le résultat ne laissait rien à désirer comme résistance, car on n'employait que de très bonnes matières, et la soudure était parfaite; seulement le produit revenait à un prix trop élevé pour l'appliquer à la voie courante.

La question étant envisagée au point de vue simplement théorique, il n'est pas douteux que les rails mixtes devaient céder le pas aux rails massifs, dont l'homogénité offre toute garantie, tandis que dans les rails composés de mises rapportées, on avait toutes chances de trouver beaucoup de défauts et principalement des manques de soudure. Un autre point à considérer était celui de la vente des rails hors d'usage. Les rails mixtes trouvent difficilement à se placer pour être dénaturés par les procédés métallurgiques ordinaires. Ici en effet, il faudrait décarburer la couverte avant de convertir le rail en fer.

Rails à couverte rapportée. — Les Américains ont fait de nombreux essais de composition des rails en parties ajustées, afin de conserver et d'utiliser indéfiniment celles qui ne s'usent pas, en appliquant à la partie la plus fatiguée, au champignon, une matière résistante comme l'acier et dont le remplacement entraînait à peu de frais par suite de la réduction de son poids. C'était la même idée, mais sur échelle réduite, que celle de la constitution de la voie en rails sur longuerines métalliques.

Il suffit de rappeler cette disposition pour faire comprendre le peu de succès que devait avoir toute recherche dans cette voie. L'ajustage des diverses parties du rail est coûteux et trop sujet à dérangement.

La figure 229 donne un croquis de la section d'un rail ainsi composé qui a été appliqué sur un embranchement du chemin central de Pensylvanie. Pour le fabriquer, on commençait par laminer à longueur la partie principale qui était en fer. On la recouvrait alors d'une bande d'acier de même longueur et à température assez élevée pour qu'en passant les deux barres réunies au laminoir, la couverte d'acier embrassât le corps du rail et l'étreignit fortement en se refroidissant.

Fig. 229

Diverses expériences de rails en fer et acier ont été faites notamment en Russie, mais il ne convient pas de s'étendre actuellement sur ce sujet, la nature du métal à rail n'étant plus mise en discussion. Disons seulement que la vente des rails de rebut rencontrait de sérieux obstacles.

174. — Classement des aciers. — On a vu que le fer peut présenter tous les degrés de carburation qui, de l'état de fer doux, le font passer à l'acier puis à la fonte.

Dans cette position intermédiaire occupée par les produits carburés qui séparent le fer pur du fer au maximum de carburation se groupent toutes les matières aciéreuses avec leurs différentes qualités.

Pour obtenir un acier présentant une résistance convenable, dur et peu flexible, il faut qu'il renferme en dehors du carbone une petite quantité de silicium ; le phosphore est toujours à rejeter surtout lorsque la teneur en carbone est assez forte, ce qui se présente dans les aciers durs.

Le procédé Thomas ne donne directement que des aciers doux puisque le phosphore ne commence à brûler que lorsque le silicium a été complètement éliminé et le carbone en grande partie. Le procédé Martin, acide, peut donner un acier de bonne qualité mais d'une dureté assez faible lorsqu'on emploie du fer puddlé ou de la fonte pure. Mais si on traite les rails en fer retirés de la voie qui sont généralement phosphoreux, on n'obtient qu'un acier doux.

Par le procédé Bessemer, avec des minerais purs, on obtient la qualité d'acier exigée généralement par les Compagnies de chemins de fer. On obtient également, à l'aide des convertisseurs des aciers durs renfermant une proportion convenable de silicium et dans lesquels la présence du phosphore en faible quantité n'offre pas d'inconvénients tout en restant nuisible.

Pendant quelque temps, dans la crainte des ruptures de rails, certaines Compagnies ont préféré l'acier demi-doux et même l'acier doux.

Les aciers peuvent être classés comme suit, en raison de leur résistance à la rupture et de l'allongement correspondant (voir le tableau page 417).

NUMÉROS	DESIGNATION	TENEUR p. °/₀ en carbone	RÉSISTANCE à la rupture par m/m carré	ALLONGEMENT moyen	CARACTÈRE DU MÉTAL	UTILISATION
1	Acier extra-doux	Moins de 0,15	34 à 40 kgr.	35 à 25	Extrêmement malléable et soudable.	Pièces de forge. — Rivets. — Éclisses. — Bandage de roues. — Acier profilé.
2	Acier doux . .	0,15 à 0,25	40 à 46	25 à 22	Très malléable et soudable.	Pièces de forge. — Bandage de roues. — Acier profilé.
3	Acier demi-doux	0,25 à 0,35	46 à 55	22 à 20	Très malléable et soudable.	Pièces de forge exigeant une grande résistance. — Traverses. — Acier profilé.
4	Acier demi-dur.	0,35 à 0,50	55 à 65	18 à 15	Bien malléable et soudable.	Pièces exigeant une certaine dureté et une grande résistance. — Ressorts. — Acier profilé.
5	Acier dur. . .	0,50 à 0,70	65 à 75	13 à 8	Malléable et soudable.	Pièces exigeant une très grande dureté. — Ressorts.
6	Acier extra-dur.	Plus de 0,70	Plus de 75	»	Moins en moins soudable et malléable.	Outils.

175. — Conclusion. — En résumé, toutes les recherches de procédés nouveaux de fabrication de l'acier tendent au même but : produire un métal dur, homogène et en grande masse, par un procédé suffisamment économique pour répondre aux besoins actuels de l'industrie.

Mais l'expérience démontre que les ruptures redoutées des Compagnies anglaises et allemandes se produisent plus fréquemment avec l'acier doux qu'avec l'acier dur.

Il n'est pas jusqu'à l'influence du froid qui avait été invoqué ; mais les études de la Société technique impériale de Russie ont permis de constater que ce sont les rails les plus durs qui ont le mieux résisté non seulement à l'usure mais aussi à la rupture. L'acier doux est encore recommandé par un certain nombre d'ingénieurs.

Les Compagnies de chemins de fer désignent assez généralement le procédé de fabrication de l'acier qu'elles autorisent, mais elles laissent aux aciéries la liberté de conduire les diverses opérations comme elles le jugent convenable, se réservant de se rendre compte de la qualité du produit présenté à la réception par des essais détaillés, spécifiés au cahier des charges, et par un temps de service dont la durée est acceptée par les fournisseurs.

Les chemins de fer français du Nord, de l'Ouest, de Paris-Lyon-Méditerranée emploient de l'acier dont la résistance par millimètre carré de section varie de 70 à 75 kilogrammes avec un allongement de 13 % environ.

Les chemins de fer d'Orléans, de l'Etat français font usage d'un acier plus dur d'une résistance de 75 à 80 kilogrammes avec un allongement de 11 %.

Ceux du Midi français ont un acier encore plus dur offrant une résistance de 80 à 85 kilogrammes et un allongement de 8 %.

En Belgique, le Grand Central impose une résistance de 60 à 70 kilogrammes avec un allongement de 10 à 15 % au maximum, tandis que les Compagnies anglaises acceptent des résistances comprises entre 50 et 65 kilogrammes et des allongements variant de 15 à 22 %.

Le tableau ci-dessous donne les résultats d'essais faits par M. Emile Kern, ingénieur, sur des rails d'acier de 20 kilogrammes destinés aux chemins de fer de Porto-Rico.

Essais à la traction, sur des éprouvettes de rails en acier Bessemer, faits à l'usine de la Société Cockerill, à Seraing.

Numéros d'ordre	Numéros des rails	Longueur des éprouvettes	Diamètre ou section	Surface	Charge à la rupture	Résistance par millimètre carré	Allongement pour cent	Rétrécissement		OBSERVATIONS
								Diamètre	Surface	
1	3600	200	16	201,06	14478	72,0	17	12,8	128,68	
2	3657	»	15,9	198,55	14224	71,6	17,5	13,3	138,93	
3	3710	»	15,9	198,55	13970	70,3	18	12,5	122,72	
4	3732	»	16	201,06	14224	70,7	18,5	12,4	120,76	
5	3809	»	15,9	198,56	14478	72,9	17	12,6	124,69	
6	3829	»	15,8	196,08	13970	71,2	18	12,7	126,68	

176. — Ajustage des rails. — *Longueur des barres.* — Conformément aux clauses du cahier des charges, le fournisseur doit livrer une certaine proportion de rails de longueur réduite destinés à former la file intérieure des courbes. Cette proportion est calculée suivant les rayons, le développement et le nombre des courbes de la ligne (234) (elle est comprise généralement entre 10 et 15 %).

Le marché doit également réserver à l'ingénieur la faculté de réclamer des barres de longueurs exceptionnelles dans une proportion variant généralement de 1 à 2 % à l'effet de poser la voie sans joints sur certains ouvrages d'art.

Enfin, certaines Compagnies dont le rail a un profil un peu spécial prennent la précaution d'imposer également la fourniture des rails destinés aux changements et croisements de voies.

Ces dernières stipulations permettent d'éliminer, en partie au moins, les pertes du fabricant qui pourraient être importantes par les rebuts des barres écourtées pour défauts aux extrémités.

En outre, une tolérance de $1^{mm},5$ à 2 millimètres en plus ou en moins est généralement admise.

Marques de l'usine et dates. — Il est d'un grand intérêt pour les Compagnies de connaître exactement la provenance et la date de fabrication des rails. A cet effet, les rails doivent porter des marques bien apparentes désignant l'usine, l'année et le mois de fabrication. On obtient ce résultat au

moyen d'une gravure faite dans la dernière cannelure du cylindre qui reproduit ces indications en relief sur l'âme de chaque barre.

Coupage. — Les extrémités des rails sont affranchies à une distance suffisante pour que les parties conservées ne présentent aucun défaut.

La coupe, disaient les anciens cahiers des charges, doit se faire à froid au tour ou au rabot, de manière qu'il n'en résulte ni arrachements ni bavures ; mais le coupage à froid est aujourd'hui abandonné presque partout. La barre sortant des cylindres est sciée aux deux extrémités et quelquefois en même temps à son milieu par deux ou trois scies circulaires.

Les chutes sont utilisées, ainsi que nous l'avons dit précédemment.

Les extrémités des rails sont ensuite dressées, soit l'une après l'autre, soit en même temps (Burbach) au moyen de la machine à fraiser.

La longueur des rails chauds est calculée pour qu'après refroidissement ils aient, aussi rigoureusement que possible, la longueur normale. En marche ordinaire, le coupage est assez exact pour rendre un rail de réception au moyen d'un simple ébarbage à chaud à la râpe.

Quand il n'a pas la dimension voulue, on le fait passer au coupage à froid.

Dressage. — Dans le but d'obtenir une voie aussi régulière que possible on exige avec raison des fabricants que les rails soient parfaitement dressés sur les quatre faces.

Le dressage doit être fait, autant que possible, à chaud ; les rails, à leur sortie du cylindre, sont placés sur une table en fonte où on les dresse à coups de maillets en bois. Si les rails sont à champignons inégaux ou à large base, la table, doit avoir une courbure telle, que les rails, appliqués bien exactement sur la table bombée, se redressent par la simple différence de contraction que le refroidissement opère sur les deux bases. Pour connaître la courbure qu'il faut donner à la table de dressage, on fait chauffer un rail du profil en fabrication et on le dresse bien exactement. En se refroidissant, ce rail prend une courbure qne l'on relève soigneusement, pour la reporter en sens inverse sur le moule de la table de dressage. A la suite de cette première table cintrée, vient une seconde table inclinée qui, à la partie supérieure, celle qui touche la première table, présente la même courbure que celle-ci, mais vers le bas devient complètement plane, de sorte que la barre y arrive droite et refroidie.

L'emploi du marteau en fer doit être interdit pour le dressage, car il déforme le profil du rail. Si le dressage est achevé à froid, on ne l'exécute qu'en employant un moyen de serrage gradué, tel que la vis de pression.

Perçage et entaillage. — Les trous destinés à recevoir les boulons d'éclisses, ou les attaches sur les traverses, peuvent être percés au foret ou à l'emporte-pièce. On a renoncé au deuxième procédé qui produisait notamment des fentes lorsque les deux trous étaient percés simultanément. On a admis dans certaines Compagnies le perçage au poinçon et l'élargissement au foret. Les dimensions des trous et entailles doivent être rigoureusement maintenues, mais on accorde généralement au fabricant une tolérance de 1/2 millimètre sur la position de ces trous; la vérification s'en fait au moyen de gabarits analogues à celui représenté ci-contre (fig. 230).

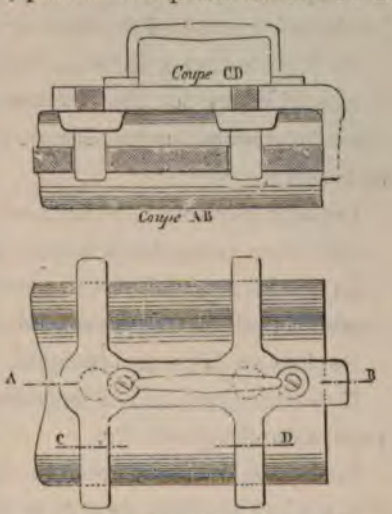


Fig. 230. — Gabarit de vérification du perçage des trous 1/3.

Nous indiquerons, dans le chapitre VII, § III, les procédés appliqués au perçage et à l'outillage des rails (221 à 224).

177. — Surveillance, épreuves et réception provisoire. —L'usine ne doit mettre en train sa fabrication que lorsqu'elle y est autorisée par l'Administration du chemin de fer. L'ingénieur ne donnera cette autorisation qu'après s'être assuré, que le profil, les dimensions, le poids et la résistance du métal aux diverses épreuves qu'il devra subir, répondent aux conditions du marché.

Afin de suivre aussi rigoureusement que possible la fabrication dans toutes ses phases, on procède à des essais de traction tant sur des éprouvettes prises au moment de la coulée, que découpées sur les barres laminées (175).

Après leur fabrication les rails doivent être conservés à sec et préservés autant que possible de l'oxydation. On choisit, dans chaque série, un certain nombre de barres qui ne dépassent pas généralement 1 %. L'agent a soin de prendre pour ses essais les rails qui lui paraissent le plus défectueux.

On fait subir aux rails d'acier deux sortes d'épreuves :

1° A la pression;

2° Au choc.

Suivant le profil du rail et par conséquent sa force de résistance on place le rail sur deux appuis distants de $0^m,90$, 1 mètre, $1^m,10$, $1^m,20$, etc., et on

lui applique en un point situé à égale distance des appuis une pression déterminée par le cahier des charges. Après une durée qui est généralement de 5 minutes, le rail ne doit conserver aucune flèche permanente.

On procède alors à une suite d'autres épreuves à la flexion pendant lesquelles on mesure les flèches correspondantes qui ne doivent pas dépasser celles fixées au cahier des charges. On continue la pression jusqu'à rupture de la barre.

Les deux morceaux ainsi obtenus sont ensuite soumis aux essais au choc.

Cette épreuve consiste à laisser tomber un mouton d'un poids déterminé à des hauteurs successives et à mesurer la flèche obtenue à chaque coup. La rupture du rail ne doit pas se produire avant une hauteur déterminée.

Pendant ces différentes épreuves, il est tenu compte de la température.

Nous donnons ci-dessous un tableau des épreuves exigées par diverses Compagnies de chemins de fer.

Indépendamment des essais au choc ou à la pression, certaines Compagnies font laminer des bouts de rails en lames de ressorts qui doivent supporter sans détérioration un allongement déterminé.

On fabrique aussi des burins avec l'acier des champignons et ces burins doivent pouvoir attaquer la croûte des pièces coulées en fonte blanche sans s'émousser, s'ébrécher, se refouler ou se casser.

Les épreuves à faire subir aux rails destinés aux chemins de fer de Porto Rico ont été fixées comme suit par la Société d'entreprises et de constructions dans les Colonies Espagnoles :

Les rails en acier Bessemer ont un poids de 20 kilogrammes le mètre courant, la longueur des barres primitivement fixée à 8 mètres a été portée ensuite à 10 mètres.

1° *Epreuves à la pression.* — Le rail placé de champ sur deux points d'appui espacés de 1 mètre devra supporter pendant cinq minutes au milieu de l'intervalle des points d'appui :

Sans conserver de flèche permanente sensible après l'épreuve une pression de 9.000 kilogrammes ;

Sans dépasser une flèche permanente de 25 millimètres une pression de 16.000 kilogrammes, et sans se rompre une pression d'au moins 20.000 kilogrammes.

On augmente ensuite la pression jusqu'à la rupture.

2° *Epreuve au choc.* — Chaque moitié de barre cassée placée sur deux supports espacés de $1^m,10$ fixés dans les conditions imposées par la Compagnie de Bône-Guelma, devra supporter sans rupture le choc d'un mouton de

NATURE DES ESSAIS	ÉTAT FRANÇAIS Poids du rail double champignon 38k200		MIDI Poids du rail double champignon 37k70		ÉTAT BELGE Poids des rails vignoles 38k		52k70		CHEMINS DE THESSALIE (Grèce) Poids du rail type vignoles 21k25		BONE GUELMA Poids du rail 25 kg.	
ESSAIS A LA FLEXION												
Distance des appuis . . .	1m10	1m10	1.10	1.10	1.10	Le rail placé à plat devra pouvoir être courbé à froid sous un rayon de 75 mètres sans aucune crique ni fissure.	1.10	Le rail posé à plat doit pouvoir être courbé à froid sous un rayon de 100 mètres sans crique ni fissure.	1m	1	1m	1m
Pression au milieu en kg. .	16.000	38.000	20.000	35.000	22.000		35.000		15.000	25.000	12.000	22.000
Durée de la pression. . . .	5'	5'	5'	5'	5'		5'		»	»	5'	5'
Flèche permanente tolérée .	0	sans rupture	0	0.001 toler. 0,002 p. 1/3 au plus des barres.	0		0		0	sans rupture	0	0.025
ESSAIS AU CHOC												
Distance des appuis . . .	1m10		1m10		1m100		1m10		1m		1m10	
Poids du mouton	300 kg		300 kg		500 kg		700 kg		200 kg		300 kg	
Hauteur de chute sans rupture .	1m50		2m25		4m000		4m000		1m90 sans rupture		1m60 Flèc. max. 20mm	
Haut. de chute.			3m00 / 4m00 / 5m00									
Flèches correspondantes, .	8 mm. sans rupture		12 mm / 28mm / 45mm		Résistance par mm. carré 60 à 70 kgr. allongement 10 0/0 minim. 15 0/0 max.		Résistance par mm. carré 60 kg minim. allongement 10 0/0 min.					
avec tolérance de 30 % . .			tol. 7 mm / 11 / 15									
			Nota. — La hauteur des chutes augmente à chaque coup de 0m25.									
ÉPREUVES complémentaires	Néant		Les burins fabriqués avec l'acier de ces rails devront pouvoir travailler la fonte grise sans se casser ou se refouler. On laminera des lames de ressorts avec les tombées des rails et on les soumettra pendant 5 min. en leur milieu à une pression suffisante pour produire un allongement de 4mm par m des fibres extrêm., les lames devront reprendre leurs formes et dim. primitives après enlèvement de la charge.		Néant		Un barreau de l'acier servant à la fabrication du rail ayant 15mm, sur 30mm sera trempé à l'eau froide et devra se laisser entamer difficilement à la lime.		Essais à la traction. La résistance mesurée sur une éprouvette de 0,010 sur 0,020 est de 64 à 68 kg. par millim. carré avec un allongement permanent de 19 à 21 % au moment de la rupture.		Néant	

Tableau des épreuves à faire subir aux rails,

NATURE DES ESSAIS	NORD FRANÇAIS				EST FRANÇAIS				PARIS-LYON-MÉDITERRANÉE			
	Poids du rail vignoles				Poids du rail, type vignoles				Poids du rail, type vignoles			
	30 kg		43k215		30k475		44k210		38k95		47k00	
ESSAIS A LA FLEXION — Distance des appuis . . .	1m	1m	1m	1m	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.00	1.00	1.00
ESSAIS A LA FLEXION — Pression au milieu en kg. .	17.000	30.000	26.000	40.000	17.000	31.000	25.000	35.000	30.000	45.000	40.000	60.000
ESSAIS A LA FLEXION — Durée de la pression . . .	5'	5'	5'	5'	5'	5'	5'	5'	5'	5'	5'	5'
ESSAIS A LA FLEXION — Flèche permanente tolérée.	0	0.025	0	0.025	0	0.025	0	0.009	0	0.030	0	0.030
ESSAIS AU CHOC — Distance des appuis . . .	1m10		1m10		1m10		1m10		1m10			
ESSAIS AU CHOC — Poids du mouton	300 kg		300 kg		300 kg		300 kg		300 kg			
ESSAIS AU CHOC — Hauteur de chute sans rupture .	2m25		3m		2m25		2m40		2m30		2m80	
ESSAIS AU CHOC — Haut. de chute.	1.00	1.50	2.00	2.25	1.50	2.00	2.50	3	1.00	1.50	2.00	2.25	1	1.50	2.00	2.25
ESSAIS AU CHOC — Flèches correspondantes, avec tolérance de 30 % . .	2	5	11	16	2	4	9	15	3	8 1/2	15	22 1/2	1 à 2	2 à 6	6 à 9	9 à 14	La flèche permanente ne devra pas dépasser 0m010			
ÉPREUVES complémentaires	On fabriquera des burins trempés qui devront pouvoir attaquer la croûte des pièces coulées en fonte blanche, sans s'émousser, s'ébrécher ou se refouler.				Néant				La résistance par millimètre carré sera de 70 à 75 kg. et l'allongement correspondant 13 %. On fabriquera des burins dans les mêmes conditions qu'au chemin de fer du Nord.			

300 kilogrammes tombant librement sur la barre au milieu de l'intervalle des points d'appui d'une hauteur de chutes successives de 1 mètre, $1^m,50$ et 2 mètres.

Les flèches prises ne devront pas s'écarter sensiblement de $0^m,005$, $0^m,010$ et $0^m,020$.

Nous donnons ci-dessous un procès-verbal des épreuves faites par M. Kern, ingénieur civil, en exécution de ces prescriptions.

CHEMINS DE FER DE PORTO-RICO

Essais de rails en acier Bessemer, de 20 kilogr. le mètre courant, faits à l'usine de la Société Cockerill, à Seraing, les 14, 15, 19 et 20 octobre 1891.

NUMÉROS D'ORDRE	NUMÉROS DES RAILS	FLÈCHES obtenues à la pression — Écartement des appuis : 1 mètre — 9 T — Fléchissement	9 T — Flèche permanente	16 T — Fléchissement	16 T — Flèche permanente	20 T — Fléchissement	20 T — Flèche permanente	OBSERVATIONS	FLÈCHES obtenues au choc — Mouton de 300 kilos — Écartement des appuis : 1m10 — Hauteurs de chute 1m00	1m50	2m00	3m00
1	3600	4	0	8	1	13 1/2	6	Éprouvette n° 1.	3 1/2	11 1/2	22	36
2	3622	4	0	7	1	15	9		3 1/2	11	22	—
3	3657	4	0	8	1/2	18	12	Éprouvette n° 2.	4 1/2	14	24	41
4	3670	4	0	7	1	16	10		4 1/2	11	21	32 1/2
5	3679	3 1/2	0	7	1	11	5		4	9	19	30
6	3686	4	0	7	1	11	5		3 1/2	8	16	—
7	3700	4	0	7	1	16	10		4	10 1/2	21	32
8	3706	4	0	7	1	16 1/2	10		3 1/2	11	22	—
9	3710	4	0	7	1	16	10	Éprouvette n° 3.	4 1/2	11	21	32 1/2
10	3732	4	0	8	1/2	18	12	— n° 4	4 1/2	11	24	38
11	3809	4	0	6 1/2	1/2	16	10	— n° 5.	3 1/2	7 1/2	18	25
12	3829	3 3/4	0	6 1/4	1/4	13	6 1/2	— n° 6.	3	7	17	33

En Angleterre, certaines Compagnies se réservent la faculté de faire tous les essais qu'elles jugeraient nécessaires pour se rendre compte de la résistance des rails et de leur qualité et elles n'imposent d'une manière déterminée que les essais au choc. Nous donnons ci-dessous un tableau de ces

essais que nous empruntons à une note de M. de Busschère sur les voies de quelques grandes lignes anglaises (¹).

NOMS DES COMPAGNIES	Poids du rail par mètre courant	Ecartement des appuis	Poids du mouton	Hauteur de chute	Nombre de coups que le rail doit subir sans se briser ni se déformer	Flèche maximum après le premier coup
	kg.	m.	kg.	m.		m/m
Great Northern	40,6(*)	1,067	568	3,048	3	34,9
North Eastern	44,6	0,914	1,016	1,574	2	25,4
Great Eastern	39,6	1,067	796	2,438	2	25,4
North British	41,6	1,143	1,016	1,574	1	61,5
Glasgow and South Western . .	44,6	0,944	1,016	3,657	2	31,6

(*) Le rail de cette compagnie pese aujourd hui 42k,o.

M. Smith a fait de nombreux essais sur des rails en acier Bessemer de Barrow et notamment des poinçonnages de trous.

Il a été rendu compte de ces essais au Congrès international de mécanique appliquée en 1889 et nous reproduisons d'après le savant rapport de M. Cornut le tableau ci-dessous :

Expériences sur les rails Bessemer de l'usine Barrow.

	TENEUR EN CARBONE	Effort nécessaire pour poinçonner un trou de 22 m/m 225 de diamètre, épaisseur 19 m/m.	Résistance au cisaillement par m/m² correspondante	Effort de flexion donnant une flèche permanente $l = 0,914$	ESSAIS A LA TRACTION	
					Charge de rupture par m/m²	Allongement sur 50 m/m 8 de longueur
		kil.	kil.	kil.	kil.	pour 0/0
Rails doux	0,28	47,380	35,6	19,235	48,60	36,25
	0,29	49,690	37,4	20,554	51,17	34,5
	0,30	50,110	37,7	20,808	51,82	34,9
	0,32	51,750	38,9	20,978	51,97	32,0
Rails durs	0,36	57,640	43,4	23,345	58,23	26,0
	0,40	59,180	44,5	23,345	59,19	24,5
	0,45	66,170	50,1	26,390	69,22	16,5
	0,50	75,620	56,9	28,420	72,00	3,0
	0,57	83,700	63,0	31,465	78,15	3,0

(1) Voir *Annales de l'Association des Ingénieurs* sortis des Ecoles spéciales de Gand.

L'appareil employé pour effectuer les expériences à la pression consiste tantôt en une combinaison de leviers (fig. 231); tantôt en une presse hydraulique convenablement disposée.

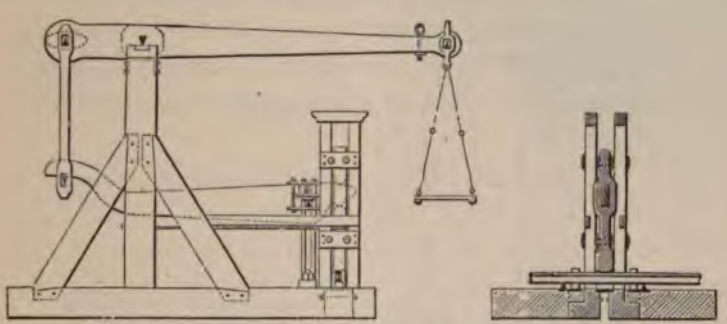


Fig. 231. — Machine à essayer les rails par pression, 1/100.

Les presses hydrauliques avec indicateurs manométriques ou à soupapes donnant fréquemment des indications erronées, on a cherché à mesurer directement la pression au moyen de romaines.

La Compagnie des chemins de fer de Paris-Lyon-Méditerranée emploie la presse hydraulique à romaine, représentée par la figure 232.

Cet appareil se compose :

D'un bâti en fonte B ;

D'un cylindre en fonte C enfermé dans ce bâti avec son piston plongeur P constituant la presse hydraulique proprement dite : l'eau arrive dans le cylindre par le conduit *c* ;

Des couteaux A et A' A', entre lesquels est placé le rail à essayer. Ce rail repose d'abord sur des rouleaux *r r*, soutenus par les deux contrepoids *p'' p''* jusqu'à ce qu'il arrive au contact des couteaux A' A'. Le couteau A est fixé sur la tête du piston plongeur P ;

D'un système de bielles, couteaux et leviers L, L', L'', L''', constituant la romaine. Les premiers leviers L sont en grande partie équilibrés par les contrepoids *p'* mobiles avec les leviers L''. Un poids *p* pouvant au moyen d'une vis V se déplacer le long du levier L''' permet d'équilibrer et de mesurer la pression exercée sur le rail ;

D'un appareil donnant la mesure des flexions du rail. Cet appareil repose par l'intermédiaire d'un support à trois branches *s*, sur le milieu de l'entretoise E, qui réunit les couteaux A' A'. Une tige *t*, en fer creux, guidée par les supports *s* et *s'*, peut glisser verticalement, mais elle porte une rai-

nure dans laquelle passe une clavette en acier fixée au guide S', qui l'empêche de tourner. Un manchon calé sur cette tige limite sa course à 0,300,

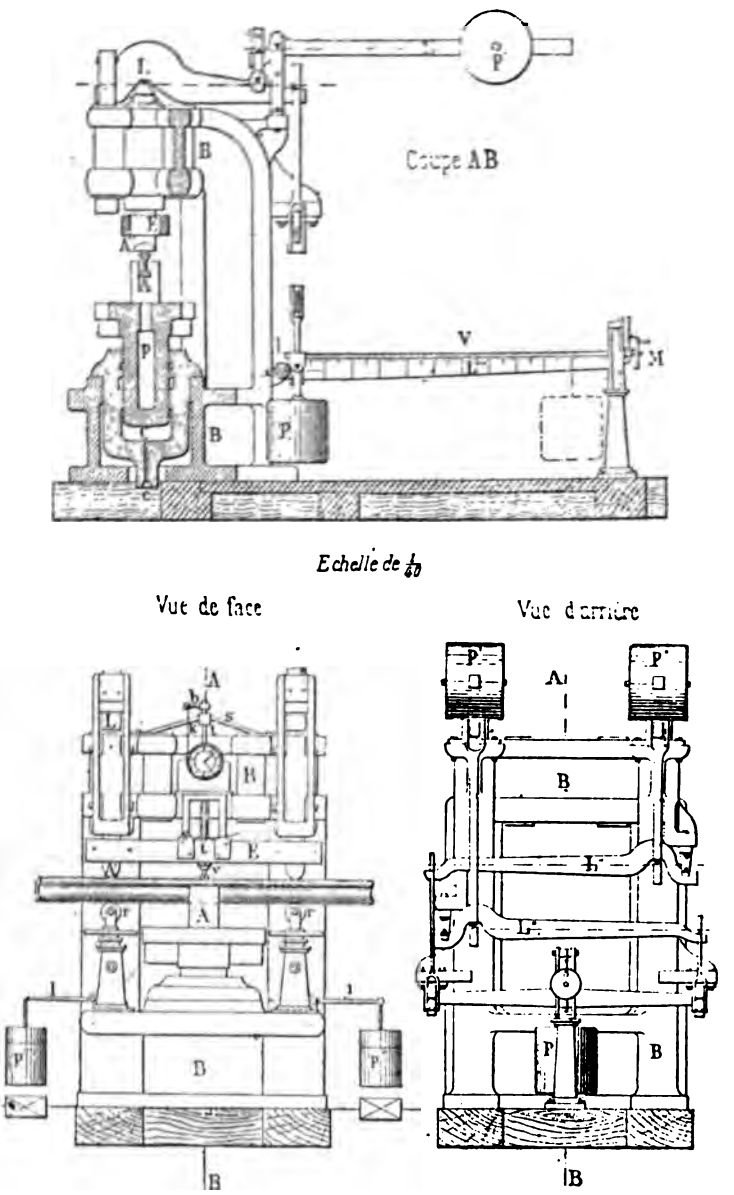


Fig. 232. — Presse hydraulique pour l'épreuve des rails.

en buttant, soit contre le support s, soit contre S'. La tige t se termine à sa partie inférieure, par une vis v, avec contre-écrou qui repose sur le rail.

A la partie supérieure, elle porte un bras horizontal b auquel est fixé, par une vis de rappel, une lame flexible h.

L'appareil mesureur proprement dit se compose :

D'un tambour, sur lequel s'enroule la lame *k*; d'un système d'engrenages destiné à mesurer cet enroulement, et qui agit sur deux aiguilles indiquant, sur le même cadran, les centimètres et les millimètres ; enfin d'un ressort spirale destiné à maintenir en contact les dents d'engrenage et à tendre la lame *k*.

Des rouleaux *rr*, pressés contre le rail par des leviers *ll*, et les contrepoids *p'p''*. Lorsque après avoir fait fléchir le rail sous une pression déterminée, on retire cette pression pour s'assurer qu'il ne reste pas de flèche permanente, le rail ne doit pas quitter les couteaux A'A', ce qui arriverait si on l'abandonnait à lui-même, la pression étant retirée. Pour cela on applique chacun des rouleaux *r* contre le rail à l'aide d'une vis et d'un petit volant. Les contrepoids *p'p''* doivent sensiblement équilibrer le poids du rail des couteaux A'A', de l'entretoise E, et une fraction du poids des premiers leviers L, L de la romaine qui ne peut être équilibrée par les contrepoids *p'p'*. Chacun des contrepoids *p''* pèse 70 kilogrammes.

Pour mettre en place le rail à essayer, il faut abaisser les rouleaux *rr*, au moyen de la vis et du volant, jusqu'à ce que les contrepoids *p''p''* viennent reposer sur leurs appuis ; introduire le rail et resserrer ensuite les vis, de manière à soulever de nouveau les contrepoids.

Il y a lieu de régler de temps en temps la position des contrepoids des leviers supérieurs de la romaine de telle sorte que le rail étant en place (le champignon en-dessous du patin pour les rails vignoles), et les rouleaux *r* appliqués contre lui, le grand levier L''' de la romaine soit en équilibre, son contrepoids *p* étant au zéro. Ce contrepoids pèse 200 kilogrammes et lorsqu'il est à l'extrémité opposée du levier il peut faire équilibre à une pression de 10.000 kilogrammes.

Avant chaque opération on règle la position de la vis de rappel de la lame *k* de l'appareil mesureur de la flexion de telle sorte que la tige *t*, reposant sur son arrêt inférieur l'aiguille des millimètres vienne un peu à gauche du zéro. Puis le rail étant mis en place on règle la vis *v*, de manière à amener les deux aiguilles au zéro du cadran.

On voit que si le rail fléchit, la tige *t* montera, elle entraînera la lame *k* qui se déroulera d'une quantité égale à la flèche que prend le rail.

nent de la rupture du rail la tige *t*, montera brusquement mais
mesureur permet à la lame *k*, de se dérouler de $0^m,360$; or nous

avons vu que la course de la tige *t* est limitée à 0m,300, on ne courra donc pas le risque de briser le mécanisme.

Pour l'épreuve au choc, on place chaque moitié du rail cassé, de champ, sur deux supports disposés comme ceux que l'on emploie pour les épreuves à la pression et on la soumet au choc d'un mouton tombant d'une certaine hauteur. Mais, dans cette épreuve, il y a plusieurs précautions à prendre : les supports de la barre à essayer doivent présenter une résistance suffisante pour que le choc du mouton ait toute son efficacité ; si l'on se contentait de placer deux petits supports en fonte, sur le terrain naturel ou sur une charpente légère sans fondation, la levée du mouton pourrait être considérable sans que le rail rompît sous le choc amorti par l'élasticité du sol.

Aussi la Compagnie du Nord prescrit-elle que les supports en fonte reposeront, par l'intermédiaire d'un châssis en bois de chêne, sur un massif en maçonnerie de 1 mètre d'épaisseur au moins, élevé sur un terrain solide. La

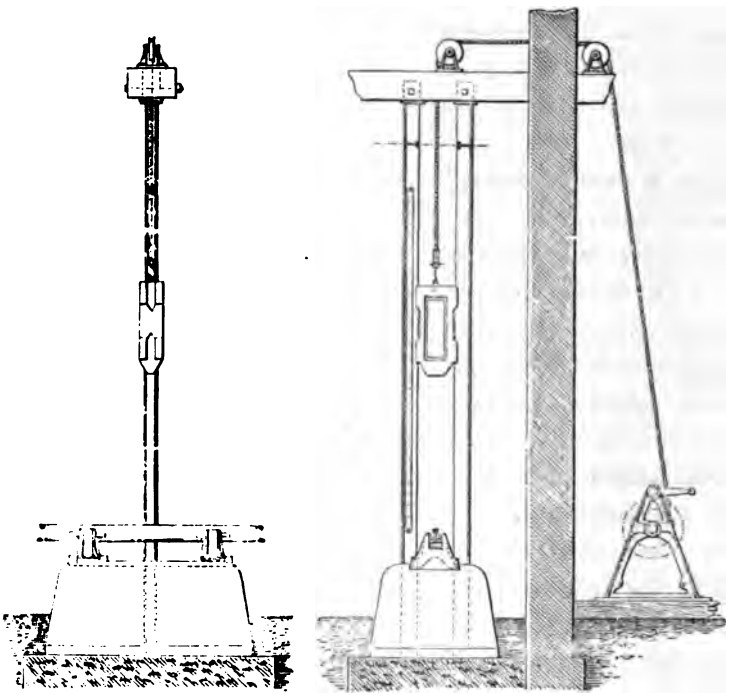


Fig. 233. — Appareil à essayer les rails par choc 1/100.

Compagnie de Lyon exige que les supports soient installés sur une enclume en fonte de 10 000 kilogrammes, au moins, établie sur un massif en maçonnerie de 1 mètre d'épaisseur et de 3 mètres carrés 3 dixièmes de base.

La figure 233 représente en coupe et en élévation le mouton à essayer les rails, construit sur les indications de la Compagnie du chemin de fer de Paris à Lyon. L'appareil est disposé pour que le décrochage du mouton s'opère sans ébranlement; deux rails convenablement lubrifiés forment les guides du mouton, qui doit tomber sans frottement important ni déviation sur le point indiqué.

Les frais d'installation des appareils d'épreuve et la main-d'œuvre relative à tous les essais et à la réception, ainsi que la perte résultant des rails cassés sont à la charge du fabricant. Nous n'examinerons pas les nouveaux appareils d'essai qui comportent certains perfectionnements.

Les agents de l'administration du chemin de fe ont le droit d'exercer de jour et de nuit, sur la fabrication, toute la surveillance nécessaire pour s'assurer que les conditions du cahier des charges sont bien observées.

Fig. 234. — Gabarit de profil des rails 1/5.

Les rails doivent avoir la forme indiquée par les dessins et le gabarit de section remis au constructeur; ils sont vérifiés au moment de la réception au moyen d'un gabarit de profil. La figure 234 représente celui des rails Vignoles en fer du Nord.

Les rails rebutés sont marqués d'un signe de rebut très apparent et indélébile, s'ils ne sont pas immédiatement dénaturés sous les yeux de l'agent. Les rails reçus provisoirement sont poinçonnés, sur les deux sections, à l'estampille de l'administration du chemin de fer.

Les réceptions forment l'objet d'un procès-verbal dont un double est remis à l'usine. — T. II, annexe.

Poids des rails. — Parmi les formalités préalables à la prise de possession des rails, la constatation du poids des barres est une des plus intéressantes. Ce poids résulte du gabarit donné au fabricant et de la densité du fer. Fixer *à priori* la densité du fer est chose à peu près impossible, car ce nombre varie avec la qualité, le mode de fabrication et la provenance du métal.

On ne peut pas introduire le poids exact dans les conditions du cahier des charges, mais on doit l'établir aux débuts de la fabrication, puis accorder une tolérance, sur le poids fixé, de 2 % en plus ou en moins.

La densité des rails peut, jusqu'à un certain point, renseigner sur l'homogénéité du métal et sur le degré d'épuration qu'il a subi. On se rappelle en
densité du fer peut varier de 7 kil., 500 à 7 kil., 650, que celle
ésente des différences qui s'élèvent de 7 kil., 700 à 8 kil., 050 (69).

178. — Garantie. — Tout en prenant les précautions les plus minutieuses durant la fabrication et les réceptions, les administrations de chemin de fer sont exposées à recevoir des rails plus ou moins défectueux. Elles doivent donc exiger du fabricant une garantie de durée des rails, dont l'importance sera d'autant plus grande que la liberté de fabrication aura été plus largement accordée au maître de forges.

La durée peut être stipulée en nombre fixe d'années ou en temps limité par le passage d'un nombre de trains déterminé. Ainsi le Midi et l'Ouest exigeaient pour les rails en fer une garantie de service effectif de trois années sur des voies désignées à l'avance.

On impose aux rails d'acier une durée de six années sans détérioration aux endroits les plus fatigués de la voie, notamment aux points où les freins doivent agir : aux grandes déclivités et aux gares.

Les rails avariés sont retirés de la voie et portés en compte au fournisseur auquel on fait supporter une réduction de prix proportionnelle sur l'ensemble de la fourniture, conformément aux clauses du cahier des charges.

La réception définitive a lieu quand ce délai est achevé. Il convient de se réserver la faculté de rebuter les rails qui, dans le transport, avant ou pendant la pose et le délai de garantie, seraient cassés ou détériorés à raison de vices de fabrication ou de matière.

Les Compagnies françaises indiquent en outre, dans leurs marchés : les lieux et époques de livraison, les amendes pour retards, le mode de paiement, elles stipulent que les rails poinçonnés compris dans les procès-verbaux aux usines sont, par ce fait même la propriété incontestable de la Compagnie.

Cette clause a pour but d'assurer au chemin de fer la livraison des rails reçus, quand bien même il s'élèverait, entre l'Administration et le fabricant, une contestation dont celui-ci pourrait profiter pour priver la Compagnie des rails reçus dont elle aurait besoin.

Comme sanction donnée à la garantie, l'Administration retient une partie des sommes dues au fournisseur et ne délivre le solde qu'après la réception définitive des rails effectuée ainsi qu'il vient d'être dit. Généralement les paiements se font de la manière suivante :

85 % de la valeur dans le courant du mois qui suit la réception provisoire à l'usine ;

10 % de la valeur des rails livrés aux points stipulés ;

5 % après la réception définitive, quand la liquidation de l'indemnité pour avaries des livraisons faites est terminée.

L'application de ces diverses prescriptions a déjà donné lieu à des décisions judiciaires extrêmement graves pour les maîtres de forge en défaut.

179. — Observations générales ; précautions. — Les agents préposés à la surveillance et aux réceptions, dans les usines, sont chargés d'une mission des plus importantes, dans laquelle leur responsabilité est sérieusement engagée. Ils ne doivent pas perdre de vue les prescriptions du cahier des charges et les instructions spéciales qu'ils reçoivent de leur chef de service. Chaque détail de fabrication fera l'objet d'un examen attentif de leur part : qualité des minerais et du combustible, composition des lits de fusion, marche du haut-fourneau, travail des fours à puddler ou des convertisseurs, cinglage et étirage des fers, mise en paquets (poids des lingots), nombre de coulées en 24 heures, prises d'essais, laminage, dressage et coupage des rails ; finissage ; toutes opérations solidaires les unes des autres pour la même fabrication, et demandant à être suivies avec une scrupuleuse attention.

Les agents doivent s'assurer par des tournées fréquentes, notamment pendant la nuit, de l'exactitude apportée dans la composition, dans le chauffage des paquets, dans l'emploi du spectroscope, etc. Des cassures répétées en tous sens les renseigneront sur la qualité des divers produits en rapport avec le degré d'avancement du travail.

Nous ne saurions trop engager les agents chargés de faire subir les épreuves aux rails de s'entourer de toutes les précautions possibles, pour éviter les erreurs dont leurs expériences pourraient être entachées. Ils devront notamment prendre en considération le degré de température du rail au moment de l'opération, car une élévation ou un abaissement de température exerce une très grande influence sur la résistance momentanée des fers.

En outre, et comme recommandations spéciales, nous pourrons donner les indications suivantes (fer ou acier) :

Veiller à ce que les barres passent dans toutes les cannelures des cylindres;

Rechercher les défauts dissimulés avec divers mastics, et qui se décèlent par des traces de rouille ;

Examiner la couleur des deux faces du rail ; quand elles présentent deux teintes différentes, il y a négligence dans le chauffage ; choisir ces rails pour faire les essais d'épreuves au mouton ou à la presse.

Le poids des barres et le gabarit (fig. 234), qui sert à vérifier toutes les dimensions de la section des rails, fournissent des indices suffisants sur la régularité du travail mécanique. Les cannelures des cylindres pouvant

s'agrandir outre mesure, après le passage de mille rails environ, ou les cylindres eux-mêmes étant exposés à se casser, il est nécessaire, afin d'éviter des interruptions dans la fabrication que le fabricant possède une deuxième paire de cylindres finisseurs.

La marque de l'usine qui est obtenue au moyen d'une gravure dans les cannelures doit toujours être très apparente sur tous les rails, ainsi que la date de la fabrication.

Les rails de longueur exceptionnelle seront indiqués par une marque spéciale et si possible indélébile. On les empilera séparément, de manière à pouvoir les expédier à toute réquisition du chef de service.

L'empilage des rails doit être fait de telle sorte que chaque pile ne renferme que des rails de même longueur.

On fait en sorte que toutes les piles contiennent le même nombre de rails; disposition qui facilite le comptage et l'inventaire. On tâchera d'obtenir que l'usine conserve les rails à couvert; sinon, il faudra donner de l'inclinaison aux barres, afin d'éviter le séjour de l'eau sur le fer.

Les agents aux usines doivent, indépendamment des rapports dont nous avons parlé plus haut, transmettre périodiquement au chef de service un état récapitulatif des rails fabriqués, reçus et expédiés. Ils tiennent ponctuellement au courant des registres spéciaux, dans lesquels ces indications sont exactement inscrites avec tous les détails nécessaires pour établir, en tout temps, la situation des fournitures de rails en nombre, poids et longueurs.

Les agents des Administrations de chemins de fer en mission dans les usines y rencontrent généralement toute la déférence légitimement due au caractère dont ils sont investis. Aussi pour leur conserver l'autorité morale indispensable pour accomplir leur devoir il leur est prescrit de ne faire après un mûr examen de critiques ou d'observations qu'au directeur de l'usine, dont les intérêts bien compris, sont étroitement liés avec ceux de l'Administration qu'ils représentent. Si le directeur ne tient pas compte des observations de l'agent celui-ci n'a plus qu'à en référer à son chef immédiat, en lui adressant un rapport spécial sur l'incident.

§ IV

Attaches des rails.

Nous désignons sous le nom général d'*attaches* tous les éléments de la voie destinés à maintenir invariablement le rail dans une position déter-

minée, ces pièces doivent donc présenter une résistance à l'action verticale exercée par le poids des véhicules, ainsi qu'à la pression latérale résultant du *mouvement de lacet* des roues.

Les systèmes d'attaches proposés sont très nombreux, mais nous sortirions du cadre de notre travail si nous voulions entreprendre la description de toutes les formes plus ou moins compliquées qui ont fait l'objet d'essais ou de tentatives d'application.

Nous bornerons notre examen aux types généralement employés.

180. — Coussinets en fonte ; formes et dimensions. — Le coussinet en fonte se compose d'une base ou semelle, surmontée de deux joues, comprenant entre elles la *chambre* destinée à recevoir le rail et le coin de serrage (fig. 154, page 279).

La semelle reçoit directement la pression verticale exercée par le rail sous charge, et, indirectement, la pression latérale des boudins, transmise par les joues ; elle doit donc résister à la compression et à la traction. Il faut, en conséquence, que la section soit calculée pour qu'en service ordinaire les efforts demandés à la fonte ne dépassent pas la limite d'élasticité. Pour augmenter la résistance de la semelle, on lui donne une forte épaisseur ; afin d'en diminuer le poids, des vides sont disposés de manière à n'en pas compromettre la solidité ; mais ces vides ont le grand inconvénient de transformer la face d'appui de la semelle en une espèce de grillage dont les barreaux supportant tout le poids des véhicules s'incrustent dans le bois et le désagrègent. A partir de ce moment, les coussinets perdent leur position normale, l'inclinaison et l'écartement des rails changent, enfin les attaches ne suffisent plus pour maintenir solidement le coussinet ; si la traverse n'est pas complètement détériorée, il faut la raboter, c'est-à-dire placer le coussinet sur une partie saine de la bille.

La semelle est percée de deux trous pour recevoir les attaches sur la traverse. Les axes de ces trous sont disposés de chaque côté du plan passant par le milieu du coussinet, perpendiculairement à la longueur du rail ; si ces axes se rencontraient dans un même plan parallèle à la longueur de la traverse, le bois aurait plus de tendance à se fendre sous l'action des attaches La joue touchant le rail doit en épouser la forme aussi exactement que possible sur toute sa longueur, il faut donc que la surface en soit parfaitement parallèle à l'axe du rail ; à l'extérieur, cette joue peut être épaulée par une seule nervure dirigée dans le sens du grand axe de la semelle. La joue qui reçoit le coin, au contraire, a deux inclinaisons qui facilitent l'introduction

et le serrage du coin, dans quelque sens qu'il soit dirigé (fig. 312). Cette disposition évite l'emploi de deux types de coussinets (droite et gauche).

La joue du coin est soutenue tantôt par une, tantôt par deux nervures placées vers l'entrée, pour résister aux efforts de coinçage, qui sont plus considérables aux bords des coussinets que vers le milieu. Cependant cette disposition bonne sous ce dernier point de vue, présente un inconvénient au sabotage et à l'entretien, car les deux nervures, entre lesquelles est logé le trou de l'attache, gênent le passage de l'outil qui sert au clouage. La majeure partie des avaries remarquées sur les coussinets rabotés n'ont pas d'autre cause.

Dimensions des coussinets. — Les dimensions des coussinets en fonte ont été généralement renforcées et par conséquent le poids augmenté.

Lorsque la traverse est d'essence tendre il convient que la base d'appui du coussinet ait une grande surface. D'autre part en tenant compte des exigences nouvelles du trafic, les Compagnies en augmentant le poids de leurs rails ont aussi accru celui des coussinets.

Le poids des coussinets en fonte, qui variait primitivement entre 8 et 15 kilogrammes, atteint maintenant 18 et 22 kilogrammes. La surface d'appui varie en Angleterre, où la voie à coussinets est la plus employée, entre 0$^{m^2}$,0503, 0$^{m^2}$,0643 et 0$^{m^2}$,0728. Il convient d'ailleurs de ne pas dépasser une pression de 20 kilogrammes par centimètre carré entre le coussinet et la traverse. Une bonne précaution consiste à interposer entre le coussinet et la traverse une pièce de feutre goudronnée qui assure un contact parfait.

Les coussinets de joint en fonte sont généralement supprimés car on tend de plus en plus à employer le joint en porte-à-faux. Restent les coussinets intermédiaires. Les dimensions principales de ces coussinets pour le rail à double champignon de certaines Compagnies sont les suivantes :

DÉSIGNATION	OUEST		EST	LYON	NORD	Orléans
	m.m.	m. m.	m. m.	m. m.	m. m.	m.m.
Longueur de la semelle. . . .	255	350	260	282	290	300
Distance des trous (d'axe en axe)	195	260	190	216	222	214
Épaisseur de la semelle sous le rail.	48	48	45	45	50	40
Épaisseur de la semelle aux trous des attaches.	33	35	36	36	35	35
Largeur de la semelle dans l'axe { en haut.	85	120	78	81	80	112
Largeur de la semelle dans l'axe { en bas .	100	140	100	100	100	
Largeur de la joue du rail. . .	30	40	50	45	45	»
Largeur de la joue du coin. . .	65	65	60	70	70	»
Diamètre des trous d'attache { en haut.	22,5	»	21	22	19,5	»
Diamètre des trous d'attache { en bas. .	21	»	20	20	19	
Poids du coussinet. . . .	9kg.	15k,9	10k,30	10k,50	9k,70	10kg,
Poids du rail	37k,75	44 .0	37 ,50	38 ,10	37 ,40	38,

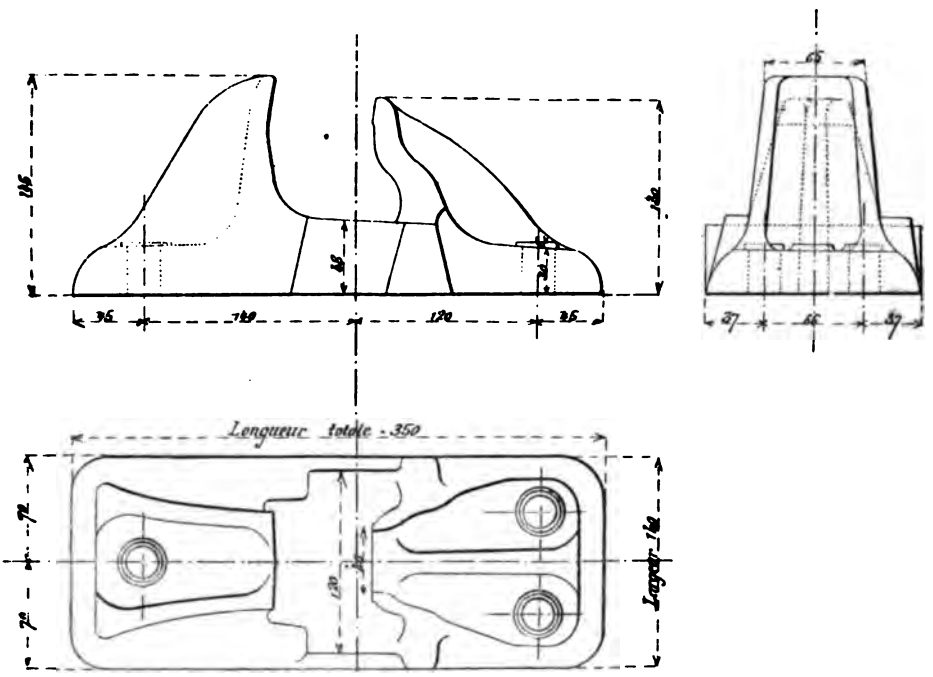


Fig. 235. — Coussinet Ouest. (1/5)

Dans les transformations de ses voies, en posant les éclisses en porte-à-faux, la Compagnie de l'Ouest a substitué aux coussinets de 9 kilogrammes, des coussinets à 2 et à 3 nervures de largeur presque double des anciens, et qui pèsent les uns 15 kil. 100, et les seconds 15 kilog. 900 pièce (fig. 235).

181. — Fabrication des coussinets en fonte. — *Modèles.* — La position relative des joues et de la semelle, qui donne au rail l'inclinaison voulue sur la voie, constitue l'une des conditions les plus importantes à maintenir dans la fabrication des coussinets.

Par les anciens procédés de fabrication, on obtenait le vide de la *chambre* au moyen d'un noyau que l'on plaçait, après coup, dans le moule du coussinet, le modèle enlevé. Ce noyau, indépendant du reste du moule, ne se présentait pas toujours dans les mêmes conditions de pose, de dimensions et de résistance ; de là des inégalités très sensibles dans la forme des coussinets fabriqués et la position des rails sur la voie.

Dans le but de supprimer complètement l'emploi de la boîte à noyau, on a établi des modèles exactement semblables aux coussinets à produire (sous réserve toutefois des dimensions correspondantes au retrait de la fonte) et on a découpé ces modèles en parties telles que chacune d'elles puisse être successivement retirée du sable. On doit exécuter ces modèles en fonte ou, mieux encore, en bronze, et les ajuster avec toute la précision exigée dans la construction des machines les plus parfaites. L'ingénieur imposera donc au fabricant la condition de lui soumettre ses modèles, et de ne commencer sa fabrication qu'après vérification faite des premiers coussinets et remise d'un échantillon accepté et poinçonné par l'Administration du chemin de fer, pour servir de type.

Les coussinets doivent porter en relief et venus de fonte, sur leurs faces extérieures, la marque du fabricant, l'année et le mois de fabrication. Chaque coulée doit être mise à part, en tas distincts des coussinets des autres coulées, jusqu'à ce que l'agent en ait fait la réception.

Qualité de la fonte. — Les coussinets peuvent être coulés en fonte de première ou seconde fusion, mais de bonne qualité, *grise* d'un grain homogène, fin, avec de légers arrachements, douce à la lime et au burin, non sujette à tasser. On doit refuser les coussinets donnant des cassures blanches ou truitées. On rejette également sans autre vérification les échantillons présentant à l'extérieur des défauts de fabrication , tels que : gouttes froides, coutures, soufflures, avalures dans les angles rentrants, tassements sous la

semelle, arêtes ou pointes présentant des parties blanches. Certains coussinets, offrant à l'intérieur une couche poreuse, tendre, compressible, seront également refusés. Ce défaut est facile à reconnaître, car, en brisant quelques coussinets fabriqués depuis un certain temps, la partie poreuse apparaît comme une couche attaquée par la rouille.

182. — Epreuves. — Tous les coussinets doivent avoir leurs surfaces nettes et unies, la semelle parfaitement plane, les coutures abattues à la lime, les bords ébarbés, les trous des attaches réguliers, alésés au besoin, et présentant les dimensions exactes des calibres, sans tolérance. Ce calibre est un tronc de cône en acier dont les bases ont un diamètre supérieur de 1/2 millimètre au diamètre des trous ; on refuse tout coussinet dont les trous ne pourraient pas recevoir le petit bout du calibre. La chambre doit pouvoir être traversée par un gabarit en tôle d'acier (fig. 236 A) ayant exactement sa forme ; un bout de rail et un coin types, remis au fabricant, doivent s'adapter avec précision et sans ballottement dans chaque coussinet.

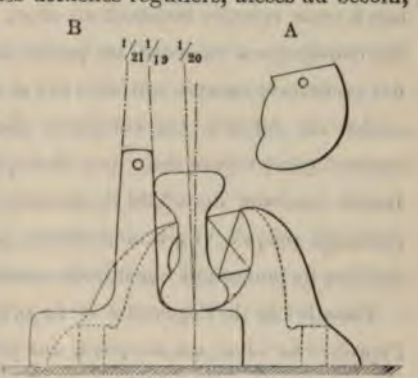


Fig. 236. — Gabarits pour la vérification des coussinets 15/1000.

On vérifie l'inclinaison des joues du coussinet par rapport à la semelle, en plaçant le coussinet armé du rail type coincé, sur un *marbre* de fonte bien dressé, et en appliquant contre le rail un gabarit (fig. 236 B) dont la branche verticale est dressée sur ses tranches avec deux inclinaisons limites comprenant entre elles l'inclinaison normale du rail sur la voie, soit 1/19 et 1/20 si l'on a choisi 1/20 pour règle générale. Les coussinets dans lesquels le rail coincé présenterait des inclinaisons en dehors des limites de tolérance seront refusés.

Chaque coulée est généralement soumise à deux séries d'épreuves, l'une au choc, l'autre à la pression, à la flexion ou à la traction. Ces essais se font tantôt sur les coussinets simplement, tantôt sur les coussinets et des barreaux d'expérience, tantôt enfin sur des échantillons seulement. Ces échantillons doivent être coulés avec des appendices pour s'opposer au retrait, en sable très sec, pendant la coulée des coussinets, et en présence de l'agent chargé de la réception.

I. — Le cahier des charges de la Compagnie de l'Ouest prescrit d'essayer un certain nombre de coussinets choisis dans chaque coulée, mise à part et empilée, sans que la proportion des coussinets brisés aux épreuves puisse dépasser 1 pour 200.

Dans l'épreuve au choc, on place le coussinet renversé sur deux saillies distantes de $0^m,20$ faisant corps avec une enclume de 400 kilogrammes, et on laisse retomber au milieu de la distance des points d'appui, et d'une hauteur de $0^m,70$ un boulet guidé pesant 30 kilogrammes. Si tous les coussinets soumis à cette épreuve résistent au choc, la coulée est reçue; dans le cas où l'un des coussinets a été cassé, on pousse les essais jusqu'à ce que le nombre de dix coussinets essayés soit atteint; si sur ce nombre trois ont été cassés, la coulée est refusée. On considère comme cassés les coussinets fendus, mais comme ayant résisté ceux qui, bien que fêlés, résistent encore au choc d'un boulet tombant de $0^m,30$ de hauteur. Si l'usine le désire, l'essai peut être prolongé jusqu'à vingt coussinets; pour que la coulée soit de réception, le nombre de coussinets considérés comme cassés doit être inférieur à six.

Dans le cas de *l'épreuve à la pression*, le coussinet, placé comme pour l'épreuve au choc, est soumis à une pression portée successivement au-delà de 20.000 kilogrammes. Si l'un des coussinets essayés rompt sous une charge inférieure à 16.000 kilogrammes, ou si la moyenne des charges produisant la rupture n'atteint pas 20.000 kilogrammes la coulée est refusée.

II. — La Compagnie du Midi soumet les fontes à deux sortes d'épreuves : les coussinets fabriqués, au choc du mouton; les échantillons d'essai, à la traction.

Epreuve au choc. — La table du coussinet repose sur deux chenêts en acier trempé, taillés en biseau, encastrés dans une enclume pesant 400 kilogrammes au moins.

Ces chenêts se trouvent dans l'axe des trous des chevillettes et sont percés de deux trous à travers lesquels passent des boulons fixant le coussinet sur l'enclume. Le mouton de 30 kilogrammes, à base hémisphérique, tombe d'abord d'une hauteur de $0^m,30$, puis de $0^m,35$ et ainsi de suite en augmentant chaque levée de $0^m,05$ jusqu'à $0^m,65$, et à partir de là de $0^m,025$ jusqu'à la rupture. Si dans ces essais deux coussinets sur dix cassent sous le choc du mouton tombant d'une hauteur égale ou inférieure à $0^m,60$, la coulée entière est refusée.

Epreuve à la traction. — A chaque coulée sont fabriqués dix barreaux à anneaux de $0^m,30$ de longueur et $0^m,025$ de diamètre ramené au tour à $0^m,020$.

L'agent réceptionnaire choisit cinq de ces barreaux, les soumet à une charge de 10 kilogrammes par millimètre carré de section, et successivement à une surcharge de 1 kilogramme par millimètre carré ; si l'un de ces barreaux vient à se rompre sous une charge de 15 kilogrammes par millimètre carré, la coulée entière sera refusée.

III. — La Compagnie du chemin de fer de Paris-Lyon-Méditerranée limite ses essais aux épreuves sur échantillon consistant en deux barreaux et deux lingots coulés en même temps que les coussinets présentés à la réception.

Pour *l'épreuve au choc*, un barreau de $0^m,04$ d'équarrissage placé horizontalement sur deux couteaux distants de $0^m,16$ faisant corps avec une enclume de 800 kilogrammes au moins, doit supporter sans se rompre le choc d'un mouton de 12 kilogrammes, tombant librement d'une hauteur de $0^m,40$, au milieu de la partie du barreau comprise entre les deux couteaux.

Dans *l'épreuve à la flexion*, un lingot de $0^m,08$ d'équarrissage doit supporter sans se rompre l'action d'un poids total de 960 kilogrammes agissant sur un bras de levier de 2 mètres de longueur faisant partie de l'appareil de Monge.

L'appareil de Monge (fig. 237) se compose d'un levier suspendu par

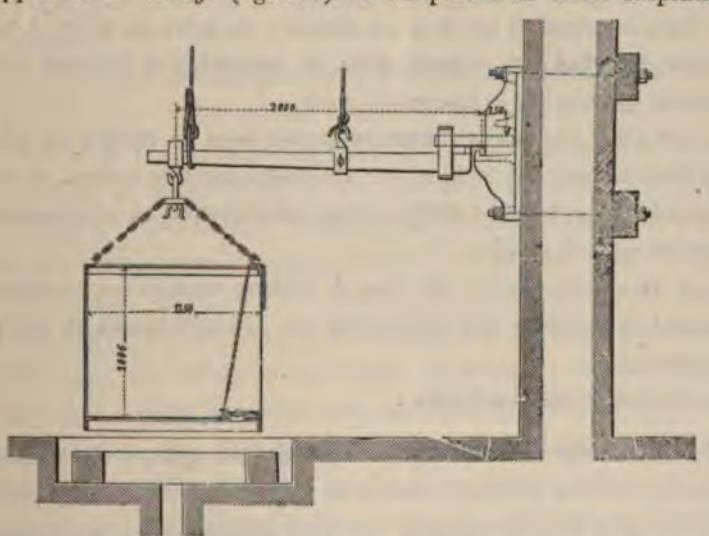


Fig. 237. — Appareil de Monge pour l'essai des matériaux (1/50).

l'une de ses extrémités au barreau à essayer. Ce levier soutient, à son autre extrémité, une cuve en tôle dans laquelle on introduit de l'eau qui doit produire la charge et qui peut, après l'opération, s'échapper par une soupape

placée au fond de la cuve. Le barreau d'épreuve est pris entre deux couteaux fixés à frottement contre les consoles d'une plaque de support.

L'introduction de l'eau pouvant être réglée à volonté, l'emploi de cet appareil permet d'augmenter la charge d'épreuve avec autant de ménagements que possible, et de suivre l'opération dans toutes ses phases, avec plus de facilité qu'en se servant des machines à poids solides.

Les barreaux et lingots, coulés en sable très sec et terminés par des appendices disposés pour s'opposer au retrait, reçoivent le même numéro d'ordre que la coulée. L'épreuve s'effectue sur une seule pièce de chaque espèce; si elle se brise, *toute la coulée est refusée.* La deuxième pièce ne sert qu'à remplacer la première quand celle-ci est manquée à la coulée.

IV. — Les épreuves indiquées par le service de la voie des chemins de fer de l'Est consistaient à soumettre à la traction quelques échantillons des fontes employées à la fabrication des coussinets.

Deux échantillons, venus de fonte avec chaque coulée de coussinets, étaient disposés en barreaux de $0^m,40$ de longueur totale, terminés par deux anneaux de $0^m,08$ de diamètre extérieur.

Le diamètre de la tige, brute de fonte, était de $0^m,015$ pour l'un des barreaux, et $0^m,020$ pour l'autre.

Au tour, on ramenait ces tiges au diamètre de 0,011 et 0,016. L'anneau supérieur étant fixé à un support solide, on suspendait à l'anneau inférieur un plateau qui recevait la charge des poids.

La tige 0,011 de diamètre devait supporter sans se rompre un effort de 1.500 kilogrammes, soit 15 k. 70 par millimètre carré de section, et celle de 0,016, une charge de 3.000 kilogrammes, soit d'environ 15 kilogrammes par millimètre carré de section.

V. — Le chemin de fer de Paris à Orléans emploie des coussinets en fonte dont la semelle a 300 millimètres sur 112 millimètres, et qui pèsent 10 kilogrammes.

On effectue les essais suivants :

Epreuve au choc. — On renverse le coussinet après avoir introduit et enfoncé à bloc dans les deux trous de la platine un boulon à tête aciérée et plate. Ces deux boulons reposent sur deux saillies faisant corps avec l'enclume, et on fait tomber un mouton guidé du poids de 20 kilogrammes d'une hauteur de $0^m,60$.

Dans chaque coulée, on fait des barreaux d'essai ayant 0,20 de longueur et 0,04 de côté. On fait reposer un de ces barreaux sur deux chenêts en acier

espacés de 0,16 et fixés convenablement à une enclume pesant au moins 800 kilogrammes, puis on fait tomber d'une hauteur de 0,30 un mouton guidé de 12 kilogrammes. Comme précédemment ces barreaux doivent résister à cette épreuve sans rupture.

183.—Réception.— Les coussinets ayant satisfait aux vérifications et épreuves indiquées sont reçus et poinçonnés de la marque du poinçon adopté par la Compagnie. Les poids sont constatés à l'origine de la fourniture sur des coussinets dont on a vérifié toutes les dimensions. Le reste de la fourniture est réglé avec une tolérance de 3 % en plus ou en moins accordée sur le poids normal.

Garantie. — Nonobstant la réception provisoire à l'usine, le fournisseur doit être responsable des coussinets pendant un certain délai ; il remplace à ses frais tous ceux qui seraient avariés pendant le transport, le sabotage, la pose et deux années de service en voies provisoires ou définitives.

184. — Observations générales. — Les recommandations que nous avons cru devoir faire aux agents chargés de contrôler la fabrication et d'effectuer les réceptions de rails, s'adressent, en général, aux agents délégués dans les usines pour surveiller la fabrication du matériel. Il n'y a donc pas lieu d'y revenir.

En ce qui concerne spécialement la fabrication des coussinets en fonte, on fera bien de suivre attentivement la marche du haut-fourneau, la composition des lits de fusion, la qualité du combustible, la pression et la température du vent, la nature du laitier, etc.; si l'allure est dérangée par une cause quelconque, il faut arrêter la coulée des coussinets jusqu'à ce que le fourneau ait repris sa marche normale. Quand les coussinets sont fabriqués en fonte de seconde fusion, il y a intérêt à essayer directement les fontes servant au mélange, et à en vérifier la provenance et la qualité. Généralement les ouvriers mouleurs, lorsqu'ils sont payés au poids de coussinets reçus quant à la forme, coulent les pièces avec un métal très chaud, pour éviter les coutures, reprises, etc., c'est une tendance qu'il faut s'efforcer de combattre, l'expérience ayant démontré que la fonte laissée pendant quelques minutes en *poches*, avant la coulée dans les moules, présente plus de garanties de solidité que lorsqu'elle est versée immédiatement après la sortie du fourneau.

En un mot, l'emploi de la fonte ordinaire présente un si grand nombre de chances de rupture, et les conséquences qui peuvent en résulter sont telle-

ment graves, que l'on ne saurait prendre assez de précautions contre l'introduction de toute pièce défectueuse dans la fourniture.

Les inconvénients qui résultent de l'emploi de la fonte dans la construction de la voie courante deviennent bien plus graves encore lorsqu'il s'agit des coussinets de joint. Aussi, pour éviter les dangers de cette application, a-t-on substitué aux coussinets en fonte des éclisses, des cornières et enfin des coussinets-éclisses en fer laminé, faisant corps avec le rail au moyen de boulons et écrous. Cette substitution écarte d'une manière absolue les chances de rupture brusque, inévitable avec la fonte appliquée aux joints des rails; elle rend l'entretien de la voie plus facile, plus économique, et le roulement des véhicules plus doux et plus régulier.

185. — Coins. -- Les coins servent à maintenir les rails dans les coussinets. On se sert dans la voie sur traverses en bois de coins en bois placés contre la face du rail, intérieure ou extérieure à la voie, cette dernière disposition qui ménage la joue externe du coussinet, permet de recouvrir le coin avec du ballast pour le conserver autant que possible à l'abri de la trop grande sécheresse. Cette précaution est rarement prise et souvent le coussinet est découvert comme dans le premier cas afin d'en permettre une visite rapide.

Dans le cas de voies métalliques on emploie les coins-clavettes en fer ou en acier que nous avons déjà mentionnés.

Formes (fig. 238). La forme des coins a beaucoup d'influence sur leur effet et leur durée. Le bloc de bois qui les constitue a trois faces parallèles à son axe et une face inclinée. Deux des faces parallèles à l'axe sont planes; la troisième épouse exactement le profil du rail entre les deux champignons. Quant

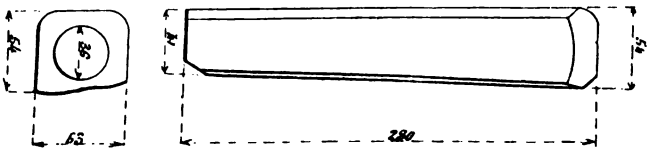


Fig. 238. — Coins en bois.

à la face inclinée sur l'axe, elle a pour profil moyen celui de l'intérieur de la joue du coussinet contre laquelle elle s'appuie, et son inclinaison sur l'axe varie entre 1/50 et 1/25 de la longueur; autrement dit, pour une longueur de 250 millimètres entre les deux têtes, on a adopté pour différence d'épaisseur dans le sens horizontal 5, 8 et 10 millimètres, d'une extrémité du coin à l'autre. Nous croyons que cette dernière inclinaison est trop prononcée.

Ces coins ainsi disposés rencontreront un excès de résistance à l'enfoncement dans le coussinet et le feront fendre, ou réciproquement le coussinet avariera la face des coins. Exigeant plus de force à l'enfoncement, le coin court aussi plus de risque d'être fendu par les chocs du chasse-coins.

D'un autre côté, l'inclinaison faible nécessite l'emploi de bois très-sec ; car, si on fabrique les coins en bois humide, la dessiccation en réduit les dimensions, et une faible différence d'épaisseur, du petit au gros bout, ne suffit plus pour remplir efficacement l'espace compris entre le rail et le coussinet, ce motif a fait adopter de préférence une inclinaison assez forte (fig. 238).

Les deux têtes du coin doivent être parfaitement d'équerre avec les trois faces parallèles à l'axe; les arêtes des têtes seront fraisées pour faciliter l'entrée du coin dans le coussinet d'une part, et ramener, d'autre part, le choc du chasse-coins vers l'axe ; on évite par ce moyen la fente du bois.

Des gabarits servent d'ailleurs à régler la forme exacte des coins.

Qualité du bois. — On peut fabriquer des coins dans le bois neuf de chêne ou d'acacia, à la condition que le bois sera sans aubier, sec, compacte, sain, sans nœuds, ni roulures, gerçures, piqûres ou tous autres défauts.

Les vieilles traverses de chemins de fer dont le bois est bien conservé, mais qu'il faut mettre au rebut par suite de fentes ou défaut de dimensions, donnent un très bon rendement par le débit en coins.

Le produit en est généralement plus avantageux que par la vente comme bois à brûler.

Fabrication. — Pour présenter dans leur forme toutes les conditions de régularité requises, les coins en bois doivent être fabriqués mécaniquement.

Un atelier de fabrication de coins peut se composer : d'une scie circulaire pour débiter les bois à la longueur; de deux machines à raboter qui donnent, l'une, le profil du coin contre le rail, l'autre, le profil externe ; enfin, d'une machine à fraiser les bouts.

On obtiendrait de très bons produits en commençant par débiter les blocs qui doivent être rabotés et fraisés, en les laissant sécher à couvert pendant quelques mois, et en ne parachevant les coins qu'après cette dessiccation préalable.

Coins métalliques. — Quelques Compagnies ont essayé de substituer aux coins en bois des coins métalliques, tout en conservant la traverse en bois.

Aux chemins de fer d'Orléans, on emploie des coins en acier conformes au

croquis ci-dessous pour la nouvelle voie constituée en rails d'acier de 44 kilogrammes (fig. 239). Ces coins, système David, sont aussi en usage aux chemins de fer de l'Ouest et de l'Etat français où ils donnent de bons résultats. En effet, ces coins résistent mieux que les coins en bois aux vibrations produites par le passage des trains et se desserrent moins.

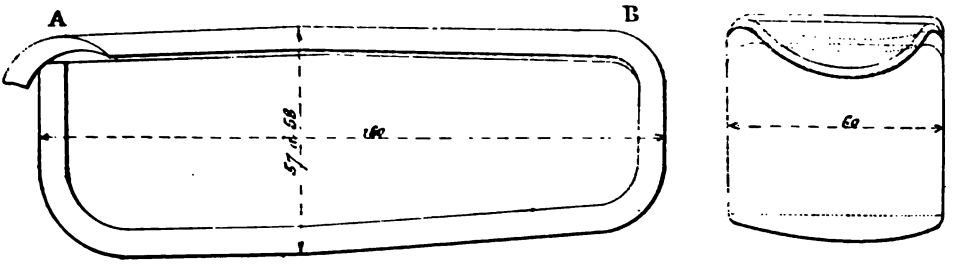


Fig. 239. — Coins en acier — Orléans.

Réception. — Les coins en bois doivent être de droit fil, avoir des faces parfaitement lisses et sans flaches, des arêtes vives et nettes, le profil exact des gabarits en acier poinçonnés. Chaque coin, présenté par la petite tête, doit entrer à la main de 1 centimètre dans le plus petit gabarit, et s'arrêter dans le plus grand à 1 centimètre de la grosse tête ; il doit enfin épouser exactement les faces du rail et du coussinet avec lesquelles il est en contact.

Tout coin qui ne satisfait pas à ces conditions est rebuté. Les coins reçus sont poinçonnés sur l'une des têtes.

En outre des exigences de forme qui précèdent, et qui sont également imposées pour les coins en acier, les agents réceptionnaires auront, par des essais à la traction et autres, à s'assurer de la qualité du métal, ils devront suivre la fabrication très attentivement.

Observation. — Les coins debités dans du bois suffisamment sec, et qui remplissent les conditions ci-dessus indiquées, seront conservés dans un magasin clos et couvert pour éviter une trop prompte dessiccation ou l'absorption de l'humidité.

Le prix des coins en bois varie de 80 à 120 francs le mille, selon les facilités d'approvisionnement que la ligne peut trouver. En traitant quelque temps à l'avance avec des fournisseurs bien installés, on peut en obtenir des conditions favorables.

La consommation annuelle des coins devient très régulière au bout de quelques années d'exploitation ; leur durée moyenne ne dépasse guère quatre ans lorsqu'ils sont en bois.

Le renouvellement des dits coins ayant principalement lieu pendant les mois de juin à septembre, il faut que l'approvisionnement en soit fait pendant l'hiver. C'est aussi la saison la plus favorable à la réduction des prix de main-d'œuvre, les travaux de charpente étant généralement suspendus à cette époque de l'année.

186. — Eclisses. — Le but des éclisses est de remédier à la solution de continuité que présentent les rails posés à la file les uns des autres, en rendant les bouts des rails voisins solidaires l'un de l'autre.

Nous avons vu, en traitant du profil des rails (162), que la question de l'inclinaison de l'épaulement du champignon a son importance au point de vue de la durée des rails. Nous en retrouvons la contre-partie quand il s'agit de l'éclissage; car, si le contact entre le rail et l'éclisse se fait sur des plans trop inclinés par rapport au grand axe de la section du rail, les éclisses tendent à s'écarter et, par suite, à fatiguer les boulons. L'inclinaison comprise entre 0,500 et 0,545 paraît répondre le mieux au but de l'éclissage.

A la Compagnie de l'Ouest, en modifiant le profil du rail à double champignon, on a adopté l'inclinaison sur l'horizontale de 26°33'54" au lieu de 41°36'28".

L'exemple du joint en porte-à-faux appliqué aux rails à coussinets a engagé quelques ingénieurs à l'appliquer aux rails à large base, et les résultats de cette disposition confirmant la théorie, ont paru tellement avantageux au point de vue de la douceur de roulement et des frais d'entretien qu'un grand nombre de lignes ont été transformées dans ce sens.

La figure 240 représente l'éclisse qui avait été adoptée par les chemins de fer de Paris-Lyon-Méditerranée, pour joints en porte-à-faux.

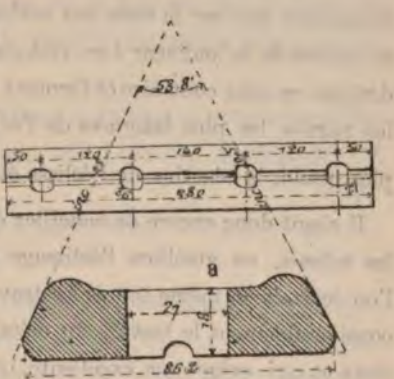


Fig. 240. — Éclisse P. L. M.

Voici quels sont les motifs invoqués en faveur des joints en porte-à-faux :

Le roulement est plus doux, parce que les joints présentant souvent des différences de hauteur entre les deux extrémités des rails en contact, le choc des bandages qui en résulte est moins sensible sur le joint en porte-à-faux, suite de l'élasticité du système; qu'avec le joint supporté, principalement avec le joint muni d'une

platine intermédiaire entre le rail et la traverse, il se produit un effet de réaction du support qui développe l'effet du choc des roues, contribue à détériorer les bandages et à déranger le joint, l'assiette de la traverse, etc. Aussi avec les joints en porte-à-faux, les abouts, des rails sont-ils bien mieux ménagés qu'avec les joints supportés, les éclisses quand les plans de contact avec les rails sont convenablement inclinés, tiennent mieux ; les attaches des rails sur les traverses voisines du joint sont plus solides ; les traverses se conservent mieux ; le bourrage en est moins fréquent ; en un mot, l'entretien de la voie est beaucoup plus facile et moins coûteux. Néanmoins, et malgré la douceur plus grande offerte au roulement par le joint en porte-à-faux, les deux systèmes ont encore leurs partisans quoique la majeure partie des Compagnies de chemin de fer se soit prononcée en sa faveur.

Quand il s'agit d'appliquer les éclisses plates aux rails à double champignons, le joint est placé entre deux supports, en porte-à-faux par conséquent ; la théorie indique que c'est la disposition la plus favorable au point de vue de la résistance normale, mais à la condition, toutefois, que les supports voisins du joint s'en rapprocheront autant que possible, et qu'ils seront toujours parfaitement soutenus, ce qui est loin d'être exact en pratique.

D'un autre côté, le joint éclissé est d'autant meilleur que la longueur de l'éclisse est plus grande. Quand on observe ce qui se passe dans une voie éclissée (fig. 241), on remarque deux portions de l'éclisse plus intéressées que tout le reste dans la résistance. Ces portions se trouvent aux extrémités A et B de la diagonale du rectangle de l'éclisse, et démontrent par la dépression du métal en ces points, que les efforts de la charge s'y concentrent plus énergiquement que sur le reste des surfaces en contact. La charge P étant placée au milieu de la longueur l on voit qu'elle se décompose en deux autres forces dirigées en sens contraire et formant un couple, et que l'effet de la charge sur les parties les plus fatiguées de l'éclisse sera d'autant plus petit que l sera plus grand, la réaction de l'éclisse étant représentée par $\frac{P}{2} \times \frac{l}{2}$.

Il s'agit donc encore de concilier deux conditions opposées. En allongeant les éclisses, on améliore l'éclissage sous ce dernier point de vue ; mais si l'on écartait en même temps les traverses voisines du joint, on augmenterait considérablement le travail du métal de l'éclisse au joint, travail déjà trop élevé et qui exige une excellente qualité de métal. Aussi faut-il tenir ces traverses aussi près que possible l'une de l'autre.

Quand on emploie le rail à double champignon, les coussinets et les coins voisins du joint empêchent de donner à l'éclisse une longueur convenable ;

enfin, le bourrage des traverses n'est possible qu'en laissant entre elles un espacement minimum, et trop réduit d'ailleurs de $0^m,40$. Telles sont les raisons qui ont fait rejeter, dans plusieurs cas, l'éclissage en porte-à-faux des rails à deux champignons pour lui substituer l'emploi des éclisses-cornières et des coussinets-éclisses ou des simples coussinets de joint.

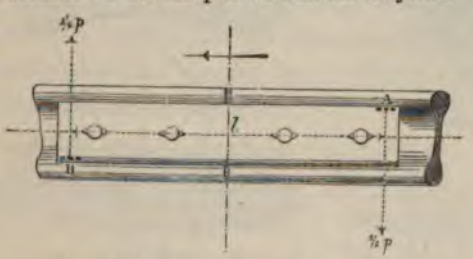


Fig. 241. — Eclisse vue de face 1/10.

L'éclissage des rails à patin ne présente pas ces inconvénients, le joint repose à volonté sur une traverse ou entre deux traverses, et l'éclisse prend la longueur qu'on veut lui donner : grand avantage du deuxième rail sur le premier.

Les joues intérieures des éclisses, celles qui s'appuient sur le rail, ont généralement un profil identique. Il serait à désirer, pour diminuer le nombre de pièces différentes entrant dans le matériel de la voie, que le profil extérieur fût aussi le même ; ce qu'on obtient en ménageant dans les trous de boulons une encoche pouvant retenir un étoquiau venu de forge sous la tête du boulon (fig. 241 et 242), mais des ruptures produites dans les éclisses en porte-à-faux ont été attribuées à la forme des trous de cette sorte d'éclisses.

Généralement on fait venir au laminage sur la face externe de l'une des éclisses une rainure destinée à maintenir la tête des boulons d'éclissage quand on serre l'écrou.

La figure 242 représente le profil de l'éclisse intérieure et extérieure adoptée par la Compagnie de l'Ouest pour son rail à double champignon de 38 kilogrammes.

Le patin prolongé de l'éclisse est destiné par sa butée à s'opposer au cheminement des rails.

En modifiant le profil de ce rail, et en renforçant son champignon supérieur, la Compagnie de l'Ouest a également renforcé l'éclisse. De plus, elle a adopté un type unique à patin dont les parties contre le rail ont un angle plus faible sur l'horizontale, en vue de diminuer sensiblement le travail des boulons.

Le joint, étant toujours considéré comme un point faible de la voie, a toujours été l'objet des préoccupations des ingénieurs.

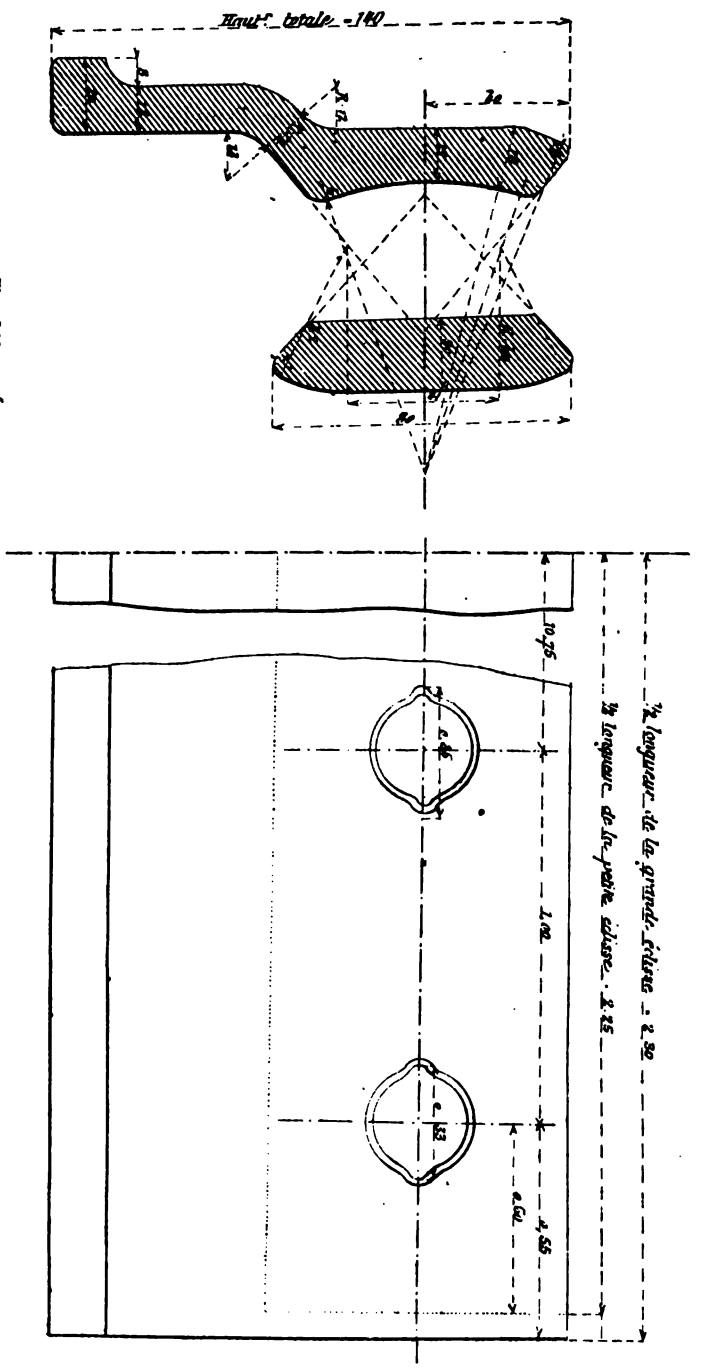


Fig. 212. — Éclisses intérieure et extérieure pour rail à double champignon (Ouest).

Étant admis que le joint en porte-à-faux doit être préféré au joint sur traverse, on a dû chercher à diminuer le plus possible l'écartement des traverses contre-joint. Mais une limite est assignée par l'obligation de pouvoir bourrer les traverses, et par conséquent de laisser un intervalle suffisant entre les dites traverses pour passer la pioche à bourrer avec l'inclinaison convenable.

A la Compagnie de l'Est, l'écartement d'axe en axe des traverses contre-joint étant primitivement de $0^m,60$, on a pu le réduire à $0^m,12$, en chanfreignant l'arête intérieure des traverses sur une partie seulement de leur longueur, de façon à permettre le passage de la pioche à bourrer (1). Bien entendu, la traverse est restée rectangulaire à l'emplacement des rails, et à son axe sur une longueur de $0^m,37$ environ (fig. 243).

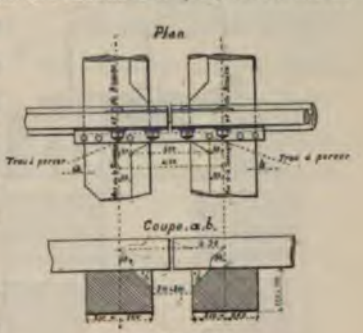


Fig. 243

Cette disposition, en essai depuis le 1er mai 1890, a jusqu'à présent donné de bons résultats.

Dans le même ordre d'idées, on avait chevauché les joints des deux files de rails, soit entre trois traverses successives, soit en plaçant le joint au milieu du rail correspondant.

Le Congrès de 1889 n'a pas recommandé ce dernier procédé, qui avait cependant ses partisans convaincus.

Les éclisses sont réunies ensemble et au rail par quatre boulons. Quelquefois l'éclissage s'opère au moyen de trois boulons, c'est-à-dire un boulon seulement traversant la tige de chaque rail, et le troisième placé dans le joint; cette disposition est rarement adoptée, et n'est pas à recommander : car, bien qu'elle offre l'avantage de diminuer le prix de l'éclissage, elle a le grave inconvénient d'affaiblir la section la plus fatiguée de l'éclisse.

Les écrous des boulons d'éclisses sont de préférence placés à l'intérieur de la voie en France, sauf aux Compagnies de l'Ouest et de l'Est.

Cette disposition est favorable à l'entretien de la voie, les écrous étant ainsi dégagés du ballast, et par suite facilement abordables.

La consolidation des éclisses, surtout pour les joints en porte-à-faux, est de la plus haute importance, et on a dû se préoccuper des moyens d'empêcher les écrous des boulons de se desserrer. Dans ce but, le pas du filet est aussi profond et serré que possible, en outre, certaines compagnies emploient des dispositions spéciales.

1. Voir *Revue des Chemins de Fer*, août 1890.

M. Bouchacourt a proposé de retenir l'écrou par une broche en fer introduite dans une rainure longitudinale venue au laminage sur la face extérieure de l'éclisse, et pénétrant sous deux écrous contigus dans une petite encoche ménagée dans la face intérieure de chaque écrou (fig. 240, page 445 et fig. 244). Comme chaque écrou est muni de six encoches semblables, on peut toujours en amener une sur la rainure de l'éclisse et arrêter l'écrou à l'aide de la broche.

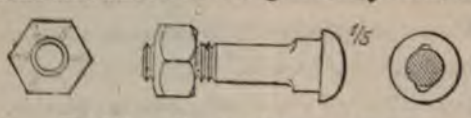


Fig. 244. — Boulon d'éclisse — Sarthe

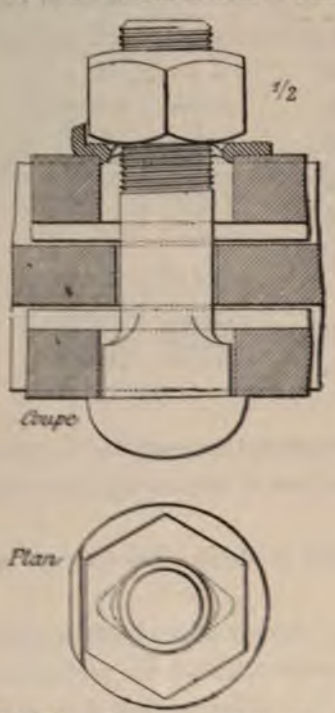


Fig. 245. — Rondelle-arrêt Dillon-Corneck

M. Dillon-Corneck a proposé d'arrêter l'écrou à l'aide d'une rondelle-arrêt, en relevant de 90° le bord de cette rondelle, fixée elle-même par un ergot dans le trou ovalisé de l'éclisse (fig. 245). Quand on veut faire tourner l'écrou, il suffit d'abattre le bord relevé de la rondelle, et, pour fixer de nouveau l'écrou, si le bord rabattu est cassé, on peut relever une autre partie de la rondelle, et ainsi de suite.

Le système d'éclissage représenté par la figure 246, est dû à M. Tudor, ingénieur à Boston.

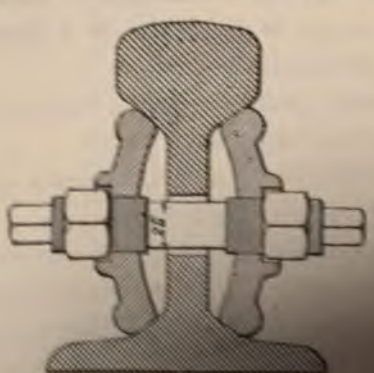


Fig. 246. — Éclissage Tudor.

Les boulons portent deux filets de vis à pas différents qui retiennent les écrous engagés dans une rainure venue de laminage sur la face extérieure de chaque éclisse. Les boulons se terminent par deux bouts à section [illegible] qui pénètrent

dans le vide d'une clé de même forme. En faisant tourner les boulons, les écrous étant rendus fixes par la rainure des éclisses se rapprochent par suite de la différence de leur pas de vis, et le serrage peut être aussi énergique que l'on veut. Quant au desserrage par rotation de l'écrou, il est devenu presque impossible.

La disposition de M. Lucas a quelque analogie avec celle de M. Bouchacourt : au lieu d'arrêter l'écrou par une broche retenue dans la rainure de l'éclisse, il le maintient par une clavette enfoncée dans une rainure ménagée partie dans le boulon, partie dans l'écrou. Le boulon a deux rainures opposées, l'écrou en porte trois, de sorte qu'en 1/6 de tour, il y a deux demi-rainures en présence. Cette disposition ne paraît pas aussi convenable que celle de M. Bouchacourt, en ce sens que les rainures doivent altérer le pas de vis et l'affaiblir.

On peut encore citer la rondelle de Grover, qui se fait en acier formant ressort entre l'éclisse et l'écrou ; en vertu de son élasticité, elle tend à incliner l'écrou contre la tige, et à produire un certain coincement qui s'oppose au desserrage de l'écrou (fig. 247).

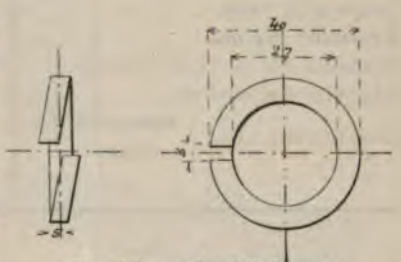


Fig. 247. — Rondelle Grover.

Ces rondelles sont employées par les Compagnies de l'Est, d'Orléans, Paris-Lyon-Méditerranée, etc.

187. — Eclisses-cornières. — Les premières applications de ce système de consolidation de joints ont été faites sur les lignes de Louis (Bavière) et de Westphalie.

Le rail reposait directement sur la traverse par le champignon inférieur, soutenu des deux côtés par des cornières en fer, réunies au moyen de boulons. Deux cas se présentent avec cette disposition : ou bien les cornières et le rail portent en même temps sur le bois, ou bien le rail seul est en contact avec la traverse. Dans le premier, le serrage n'est pas complet ; dans le second, l'effort se transmet immédiatement sur les boulons, et il ne tarde pas à produire un ferraillement que l'on ne parvient à éviter qu'en faisant porter le patin de la cornière sur la traverse par une arête seulement.

Les cornières de la ligne bavaroise étaient fixées sur la traverse de joint au moyen de trois crampons, deux à l'extérieur et un à l'intérieur, ogés dans des encoches pratiquées au bord du patin. Celles de la ligne prussienne

ont été appliquées, non seulement aux joints, mais aussi comme coussinets intermédiaires; elles étaient fixées sur le bois par des clous tire-fond traversant les trous percés en plein dans le patin.

Les principales dimensions de ces éclisses-cornières étaient les suivantes :

DIMENSIONS des ÉCLISSES-CORNIÈRES	CHEMINS Bavarois de Louis	CHEMINS DE WESTPHALIE	
	Joints	Joints	Joints
	millimètres	millimètres	millimètres
Longueur	490	392	170
Hauteur de la joue verticale	80	100	100
Épaisseur maxima	16	13	13
Largeur du patin	48	65	65
Épaisseur maxima	14	13	13
Diamètre des trous de boulons	23,5	22	22
Diamètre des boulons	22	20	20
Distance des trous intermédiaires	126	105	»
Distance des trous extrêmes	378	315	»

Les Chemins de fer de Paris-Lyon-Méditerranée ont adopté l'acier pour les éclisses dès 1878, et, depuis plus de huit ans, emploient l'éclisse-cornière (fig. 248), dont la branche verticale est reliée aux rails au moyen de quatre

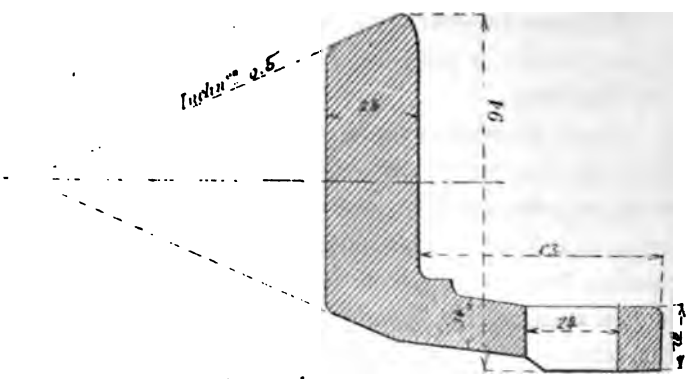


Fig. 248. — Éclisse-cornière (Lyon).

boulons, et dont la branche horizontale se fixe aux deux traverses joints par deux tire-fonds sur chacune d'elles, de telle sorte que

boulons et les trous des tire-fond ne correspondent pas. Le poids de ces éclisses-cornières varie de 15 à 20 kilogrammes.

Par cette disposition, on s'oppose énergiquement au déplacement longitudinal de la voie ; il en est de même avec les selles-arrêts, formées d'une platine reposant sur la traverse et se repliant entre le patin et l'âme du rail.

Le Chemin de fer du Nord, qui applique aussi les éclisses-cornières en acier à son rail de 43 kilogrammes ne les fixe pas aux traverses ; leurs extrémités viennent buter contre les têtes des tire-fond, et s'opposent ainsi au cheminement du rail. Le poids de ces éclisses-cornières est plus faible que celui de la Compagnie de Lyon ; il n'est guère que de 12 kil. 7 à 12 kil. 800.

La Compagnie de l'Est emploie sur ses lignes à grand trafic et à express, avec le rail de 44 kil. 2, des éclisses-cornières en acier de $0^m,09376$ sur $0^m,780$ à l'intérieur et à l'extérieur du rail, et les fixe à leurs extrémités au moyen de tire-fond sur les traverses contre-joints. Le poids de ces cornières-éclisses est de 17 kil. 400 (fig. 249).

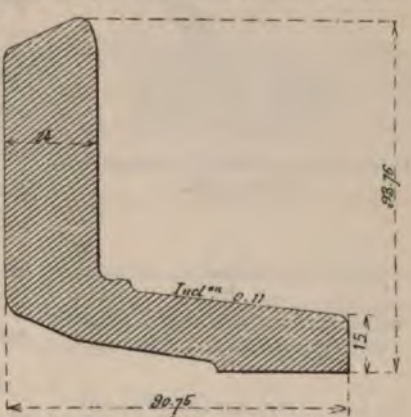


Fig. 249. — Éclisse-cornière (Est)

Sur les lignes secondaires, avec le rail de 30 kilogrammes, elle place à l'intérieur de la voie des éclisses plates, de $0^m,0801$ sur $0^m,510$, pesant $4^{kg},875$, et à l'extérieur des éclisses-cornières de 0,08455 sur 0,750, pesant $11^{kg},565$.

En Grèce, sur les lignes de Volo à Larisse, et de Valeskino à Kalaback, on a employé, en vue de s'opposer au cheminement du rail, un crampon d'arrêt pesant 200 grammes, qui est planté à l'extrémité de chaque rail sur la traverse de joint du côté externe (fig. 250).

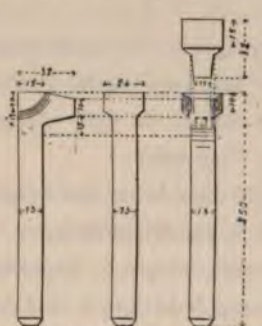


Fig. 250. — Crampon d'arrêt (Thessalie)

Ces crampons ont donné de bons résultats, même sur des rampes de 20 et 30 millimètres.

109. — **Coussinets-éclisses.** — L'emploi des coussinets-de supprimer les coussinets de joint en fonte et de conserver

tout le reste de la voie sans modifier les espacements des traverses. Cependant, il y a dans l'application plusieurs précautions à prendre pour rendre aussi complète que possible l'efficacité de ces appareils.

La figure 251 indique le profil d'un coussinet-éclisse qui a été adopté sur plusieurs lignes françaises pour les rails à double champignon.

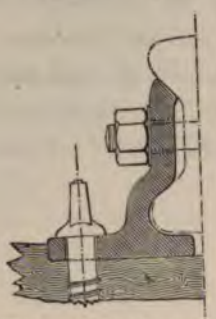


Fig. 251. — Profil de coussinet-éclisse, 1/5.

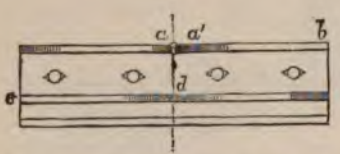


Fig. 252. — Face intérieure d'un coussinet-éclisse, 1/10

On a reconnu à l'usage que les parties *a*, *b* et *c* (fig. 252) étaient celles qui présentaient les traces les plus sensibles d'usure sous l'action du passage des trains; qu'entre *a* et *a'* on trouvait quelquefois un bourrelet de 1 millimètre représentant l'intervalle laissé entre les abouts des rails, tandis que la partie du patin en contact avec le champignon inférieur ne décelait aucune usure appréciable. Ces légères altérations des portées supérieures ne proviennent d'autre cause que du relâchement des boulons de serrage et du défaut de bourrage des traverses.

Il suffit donc, pour avoir un joint d'une sécurité absolue de veiller, quand la voie est nouvellement posée, à ce que les écrous soient toujours convenablement serrés, et surtout qu'ils appuient sur une rondelle interposée entre l'écrou et l'éclisse. Au bout de peu de temps, il devient inutile de s'en occuper; ce qui soulage beaucoup le travail des équipes d'entretien.

Comme dans le cas des éclisses plates, on a employé deux profils différents pour les coussinets-éclisses, en vue de maintenir la tête des boulons; mais on a, depuis, adopté la disposition des boulons à ergots logés dans des encoches ménagées de chaque côté des trous de boulons dans le corps du coussinet-éclisse, ce qui permet de conserver aux deux joues un profil identique.

Les patins du coussinet ont été d'abord fixés sur les traverses par des crampons simplement, en contact avec le patin; les voies ainsi établies n'ont pas tardé à prendre le mouvement de translation connu sous le nom de *glissement* des rails. On s'est alors décidé à encocher le patin pour embrasser tout ou partie de la section des crampons; le glissement s'est arrêté, mais on a bientôt remarqué que le serrage sur la traverse n'était pas suffisant, et que

le crampon et l'éclisse s'usaient sous l'influence de la marche des trains. Pour obvier à ce dernier inconvénient, des tire-fond traversant en plein le patin ont été substitués aux crampons (fig. 251).

Les coussinets-éclisses, qui ont été employés sur le réseau de l'Ouest étaient fixés sur les traverses au moyen de crampons ou de tire-fond à large chapeau qui, à l'intérieur de la voie, sont pris dans une encoche, carrée pour les crampons et demi-ronde pour les tire-fond ; à l'extérieur on les place en dehors du coussinet-éclisse et simplement contre le patin : ce qui n'est pas toujours suffisant. Aussi pour obtenir une fixation plus énergique des coussinets-éclisses, le patin fut-il élargi de façon à en permettre l'attache au moyen de tire-fond à tête ordinaire.

Dans le but de réduire à un seul modèle les éclisses intérieure et extérieure, le patin de chaque demi-coussinet-éclisse portait trois trous de $0^{m},23$ de diamètre : le demi-coussinet-éclisse placé à l'intérieur de la voie, fixé au moyen d'un tire-fond qui passe dans le trou du milieu, et le demi-coussinet-éclisse, à l'extérieur de la voie, attaché par deux tire-fond enfoncés dans les trous extrêmes du patin.

Afin que ces tire-fond ne puissent pas être confondus avec les tire-fond ordinaires, ils portent sur la tête et venue à l'étampage, une croix en relief suivant les diagonales du carré. Les trous des tire-fond placés à l'intérieur de la voie sont percés dans les traverses au moment du sabotage au chantier, au lieu de l'être sur place (chap. VII, § 2). Les trous de ceux en dehors de la voie ne doivent être percés dans les traverses qu'au moment de la pose, en tenant la tarrière verticale, et seulement lorsque les coussinets-éclisses ont été boulonnés sur les rails et fixés sur les traverses au moyen des deux tire-fond placés à l'intérieur de la voie.

Observation. — Bien que l'emploi des coussinets-éclisses paraisse se justifier par cette considération que le joint soutenu paraisse présenter plus de garanties de sécurité que le joint en porte-à-faux, il faut cependant tenir compte des faits constatés par l'expérience. Or il résulte des applications effectuées par les réseaux de l'Est et de l'Ouest français, que le patin des coussinets-éclisses s'incruste dans le champignon inférieur des rails, ce qui rend le retournement impossible et la voie cahotante.

39. — **Selles ou platines.** — Dans le but d'empêcher le patin du gnoles de pénétrer dans la traverse surtout lorsque celle-ci est en bois

tendre et aussi pour consolider les attaches du rail avec la traverse on a placé sous le patin du rail des selles ou platines en fer.

Elles ont tantôt une, tantôt deux nervures. La figure 253 représente en plan et coupe, les selles de joint et intermédiaires du chemin de Paris-Lyon-Méditerranée, la selle de joint ayant les dimensions ABCD et la selle intermédiaire la forme ABC'D'. Mais depuis l'introduction du joint en porte-à-faux la ligne de Lyon ainsi que le chemin de fer du Nord suppriment les selles.

Tableau des dimensions des selles adoptées par quelques chemins de fer.

DÉSIGNATION	LYON		EST	GRANDE CEINTURE	CENTRAL SUISSE	BAVIÈRE Palatinat	SAARBRUCK
	Joint	inter-médiaire					
Longueur.	210 m/m	105 m/m	130 m/m	170 mm	165 m/m	177 m/m	160 m/m
Largeur totale	180 »	180 »	170 »	150 »	165 »	179 »	170 »
Épaisseur aux nervures.	15 »	15 »	18 »	18 »	19 »	17 »	18 »
Épaisseur sous le rail .	10 »	10 »	9,5	9 »	10 »	8,5	9 »
Largeur des nervures . .	39 »	39 »	36 »	34 »	35 »	38 »	35 »
Nombre de nervures. . .	2 »	2 »	2 »	2 »	1 »	2 »	1 »
Nombre de trous. . . .	4 »	2 »	2 »	4 »	4 »	4 »	4 »

En rapprochant les dimensions des rails et des selles, on remarquera, dans le tableau qui précède, que la distance entre les nervures est inférieure de 0m,10, à la largeur du patin de l'Est. Cette disposition est prise en vue de mettre obstacle au glissement longitudinal du rail ; à cet effet, la partie de son patin engagée dans la platine de joint est entaillée de chaque côté. Cette entaille, formant redan, vient buter contre les nervures de la platine, et s'oppose au mouvement des rails. Les selles ou platines de joint sont regardées sur plusieurs chemins de fer comme très nécessaires : au chemin de fer du Nord, au contraire, on les considère comme inutiles.

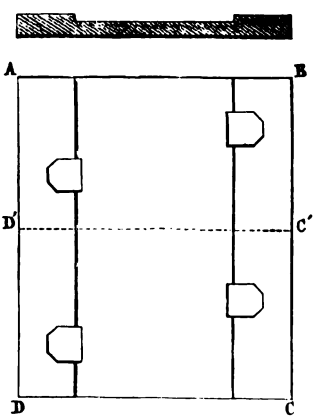


Fig. 253. — Plateau ou selle pour rail Vignoles, 1/5.

En Portugal où les traverses sont généralement en sapin tendre on emploie

des plaques donnant au rail l'inclinaison au 1/10, le patin du rail est encoché au passage des tire-fond dans le but de s'opposer à l'entraînement de la voie.

Le Syndicat du chemin de fer de Grande Ceinture de Paris emploie des selles en fer conformes au dessin ci-contre (fig. 254).

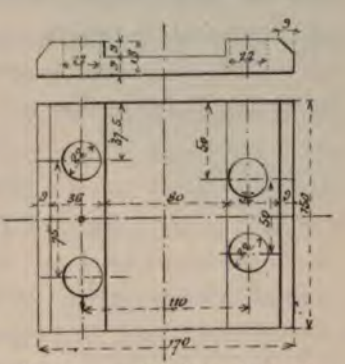


Fig. 254. — Selle de joint, Grande Ceinture.

Observation. — En Allemagne il s'est produit une réaction contre l'emploi des selles; on leur objectait de former en quelque sorte enclume et de fatiguer le rail. Cependant les selles offrent l'avantage de consolider la voie dans les courbes de petit rayon en ce qu'elles répartissent sur toutes les attaches de la traverse la pression latérale exercée par les trains, pression qui, sans la selle, s'exerce seulement sur l'attache extérieure et en diminue la solidité.

La selle du chemin du Semmering a quelque analogie avec celle en usage en Portugal, elle est laminée avec une différence d'épaisseur sur la face de pose du patin du rail, ce qui donne l'inclinaison sans avoir à entailler les traverses aussi profondément que d'habitude. Sur le Brenner, pour soulager les attaches dans les courbes à rayon de 300 mètres, la selle est munie d'une saillie inférieure qui, incrustée dans une rainure ménagée dans la traverse, s'oppose à la tendance au glissement transversal du rail et soulage les attaches.

En Angleterre certaines Compagnies, le London and Nord Wesstern Railway notamment, interposent, entre la traverse et la platine du coussinet, une feuille de feutre goudronnée qui assure le contact parfait des deux surfaces.

Les plaques d'appui en acier doux ont été substituées aux selles en fer dans quelques Compagnies, et paraissent présenter certains avantages sur ces dernières.

190. — Fabrication des pièces d'éclissage. — Les éclisses et coussinets-éclisses se sont faits en fer jusqu'à ces derniers temps, mais l'emploi exclusif de l'acier fondu pour la fabrication des rails, par suite de son prix réduit, a été également étendu aux éclisses et coussinets-éclisses.

Quelque soit le mode d'éclissage adopté, les pièces qui en constituent l'appareil sont soumises à des efforts considérables ; les éclisses plates, les coussinets-éclisses, les selles, sont percés de trous qui diminuent la résistance du

fer, et qui sont autant de causes de défectuosités, aussi bien lors de la fabrication qu'à l'emploi ; de là, nécessité absolue de fabriquer ces pièces avec des soins tout particuliers et des matières de choix. Nous indiquerons comme type de fabrication spéciale applicable dans ces différents cas la méthode suivie par la fabrication des coussinets-éclisses en fer dans l'une des usines du Nord de la France, bien outillée pour ce genre de travail.

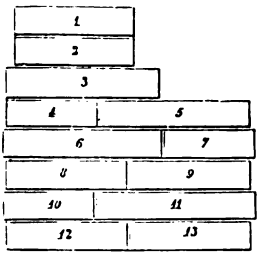


Fig. 255. — Paquet pour laminage des coussinets-éclisses 1/5.

Le fer employé doit subir trois opérations : le cinglage, l'étirage des loupes, et deux corroyages.

Le paquet, présentant la section indiquée par la figure 255, est formé de huit assises de barres ayant 20 millimètres d'épaisseur chacune, ce qui donne au paquet une hauteur totale de 160 millimètres ; sa longueur est de $0^m,90$ Il est composé de la manière suivante :

Barres 1, 2, 12 et 13.	Fer corroyé de. . .	80 m/m	de largeur.
— 3 et 5.	Bouts de rails laminés de. .	100 —	—
— 4, 7 et 10.	Fer ébauché de. . . .	60 —	—
— 6 et 11.	— de. . . .	105 —	—
— 8 et 9.	— de. . . .	80 —	—

On place à la fois dans un four six paquets pesant 800 kilogrammes, moitié corroyé, moitié ébauché, qui donnent, en moyenne, 68 éclisses de 400 millimètres de longueur. Au bout d'une heure et demie de chauffage, le paquet est passé aux cylindres ébaucheurs portant sept cannelures.

On change d'ailleurs la direction des mises du paquet en passant d'une cannelure à la suivante. La barre doit traverser ensuite les quatre cannelures des cylindres finisseurs.

En quittant la dernière cannelure la barre est amenée à la scie circulaire par un charriot monté sur roues dentées engrenant avec des crémaillères, affranchie de ses bouts écrus, et découpée en onze morceaux de 400 millimètres de longueur.

Les morceaux, toujours rouges, sont présentés à trois cannelures d'une molette ayant chacune le profil de l'une des trois faces de l'éclisse ; puis ils passent, encore chauds, au dressage, opération qui se pratique en matrice sous une presse à main. Enfin après refroidissement, les éclisses sont ébarbées par l'action de molettes qui font tomber les franges redressées par l'ébarbage à chaud. Ce travail doit être très soigné, car il importe de ne laisser sur la section de l'éclisse aucune saillie qui pourrait en empêcher le contact, sur toute sa longueur avec le rail.

L'ébarbage terminé, on passe les pièces aux machines à poinçonner pour les percer des trous de boulons et de tire-fond.

En suivant avec soin ce mode de travail, on obtient des produits qui satisfont complètement aux conditions imposées par les Compagnies de chemins de fer.

Quelle qu'en soit la forme, les éclisses doivent être fabriquées en fer de première qualité et mieux encore en acier; car les éclisses sont généralement trop faibles, et ce que l'on peut gagner en résistance par la qualité du métal, améliore sensiblement la composition du joint, aussi certaines Compagnies ont-elles adopté immédiatement l'acier.

L'acier des éclisses est généralement obtenu au four Martin-Siemens sur sole basique. Il doit être assez dur, assez tenace de façon à pouvoir durcir par la trempe, et être assez malléable pour supporter les opérations diverses du finissage, telles que perçage des trous, dressage, coupage à froid, etc. Les chemins de fer de Paris-Lyon-Méditerranée emploient de l'acier demi-dur caractérisé comme suit :

Charge de rupture	50 kilogrammes.
Limite d'élasticité.	25 —
Allongement	15 à 25 %.

Les pièces finies et dressées doivent présenter un profil uniforme et sans bavures sur toute leur longueur, des trous sans refoulement ni déchirure, des surfaces lisses et unies.

191. — Epreuves. — Réception. — Garantie. — Les cahiers des charges des Compagnies de Lyon et de l'Ouest stipulent les conditions d'épreuves suivantes pour les *coussinets-éclisses en fer*.

A. — Deux barres à éclisses assemblées reposent par leur patin sur deux points d'appui espacés de $1^{m},10$; on applique au milieu de cette distance une charge de 5.500 kilogrammes, correspondant à un effort de traction de 20 kilogrammes par millimètre carré de section; maintenue pendant 15 minutes, cette charge ne doit laisser aucune flèche sensible sur les barres.

B. — Les mêmes barres, placées dans les mêmes conditions, devront supporter pendant 5 minutes, sans rupture, une charge de 13.000 kilogrammes, soit 50 kilogrammes par millimètre de section.

C. — Les deux moitiés des mêmes barres assemblées et couchées, le patin de champ, sur deux supports en fonte placés sur un châssis en bois de chêne ayant pour base un massif en maçonnerie de 1 mètre d'épaisseur au moins,

supporteront sans rupture le choc d'un mouton de 300 kilogrammes, tombant de $1^m,50$ de hauteur.

D. – Epreuves diverses ayant pour but de s'assurer du parfait soudage des mises à l'intérieur des barres.

Lorsque les barres essayées à raison de 1 % ne résistent pas à ces épreuves, on continue les expériences. Si un dixième des essais ne répond pas aux conditions, la série entière des barres ayant fourni les échantillons d'épreuve, est rebutée et ne peut servir à la fabrication des coussinets-éclisses.

Les pièces ou barres rebutées doivent être marquées d'un signe indélébile, à moins que le fabricant ne préfère les dénaturer immédiatement.

Les épreuves des *éclisses plates* sont analogues à celles que nous venons de décrire, et appliquées tantôt à des barres du profil des éclisses, tantôt à des éclisses complètement achevées ; la Compagnie du Midi applique la troisième épreuve (C au mouton), indiquée plus haut, sur le joint de deux bouts de rails assemblés avec les éclisses et leurs boulons.

Le *Chemin de fer d'Orléans* fait procéder à des essais sur un joint de rails assemblés au moyen de deux éclisses serrées par des boulons.

A. — Les deux bouts de rails sont placés sur deux points d'appui espacés de 1 mètre ; le joint étant dans l'axe des couteaux, on lui fait supporter une charge de 3.500 kilogrammes pendant cinq minutes. Après cette épreuve, il ne doit être constaté aucune flèche apparente.

Cette charge est successivement portée à 6.300 kilogrammes, et le joint doit la supporter pendant cinq minutes sans que les éclisses soient fendues ou rompues.

B. — Les deux bouts de rails, ainsi assemblés, sont placés sur deux points d'appui distants de $1^m,10$, le joint dans l'axe, et reçoivent le choo d'un mouton de 200 kilogrammes tombant d'une hauteur de $1^m,50$.

Il ne doit pas y avoir rupture.

La *Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée* constate la qualité du métal et la résistance des éclisses en acier par les essais suivants :

A. — *Épreuve par flexion.* — On forme avec deux rails Vignoles, de $1^m,50$ de longueur, et deux éclisses-cornières de 2.652 millimètres carrés de surface chacun, et de quatre boulons serrés à bloc, un joint laissant un jeu de 6 millimètres entre les deux rails éclissés.

Cette poutre, reposant sur deux couteaux espacés de 1 mètre, est soumise à une pression de 9 tonnes, et ne doit laisser constater aucune flèche permanente.

On élève successivement la pression, et on relève les flèches conservées par la poutre ; la rupture ne doit pas se produire sous une pression inférieure à 17 t. 500.

B. — *Épreuve par le choc.* — Dans cette épreuve, on espace les couteaux de $1^m,10$, et on emploie un mouton de 200 kilogrammes tombant successivement de $1^m,90$, 2 mètres, $2^m,50$ de hauteur.

Les éclisses doivent résister sans rupture au choc du mouton tombant de $1^m,90$.

En général, d'ailleurs, ce sont les boulons qui cèdent.

Épreuve par traction directe — On découpe dans les éclisses une série d'éprouvettes qui sont soumises aux essais à la traction.

Les coefficients admis sont :

Charge de rupture : 50 kilogrammes par millimètre carré ;

Allongement : 15 % au minimum ;

Limite d'élasticité : 25 kilogrammes par millimètre carré.

L'acier exigé par la même Compagnie, pour la fabrication des selles d'appui, est plus doux, et susceptible de prendre la trempe légèrement ; il doit présenter les conditions suivantes de résistance :

Charge de rupture : 50 kilogrammes par millimètre carré ;

Allongement : 18 % au minimum ;

Limite d'élasticité : 25 kilogrammes par millimètre carré.

Il est en effet préférable que ce soit la pièce en contact avec le rail qui s'use le plus facilement, attendu qu'il est moins coûteux de remplacer les selles que le rail correspondant.

192. — Réception. — On exige du fabricant que, jusqu'à leur réception, les objets fabriqués soient conservés en lieu sec. Les éclisses fabriquées avec les barres qui satisfont aux épreuves prescrites, doivent être, comme nous l'avons dit, parfaitement dressées, ébarbées, lissées et unies ; les trous sans déchirures ni refoulements ou bavures, et parfaitement conformes aux indications des dessins, sous réserve, toutefois, d'une tolérance de *un quart de millimètre* en plus ou en moins sur le diamètre des trous.

La distribution des trous exige une grande rigueur d'exécution. Cette distribution est vérifiée avec un bout de rail portant des goujons d'acier dont les axes ont exactement les espacements des trous indiqués sur les dessins ; mais les diamètres de ces goujons sont d'un demi-millimètre inférieurs aux diamètres des trous des éclisses.

Une tolérance de 2 millimètres en plus ou en moins est accordée sur la longueur normale. Le rail-gabarit doit librement porter dans les éclisses, et se trouver en contact avec elles sur toutes les surfaces indiquées par les dessins.

Les éclisses acceptées reçoivent une marque apparente, indiquant l'usine et l'année de fabrication. Pour que l'expédition des pièces se fasse dans les meilleures conditions, on doit les faire lier, avec du fil de fer, en bottes contenant un même nombre de pièces, et d'une manipulation facile.

Garantie. — Nonobstant la réception à l'usine, des éclisses, coussinets-selles, etc., le fournisseur en reste garant dans le transport, avant, pendant, et en général deux ans après la pose; il remplace donc à ses frais toutes les pièces qui, dans ce délai, présenteraient des traces de détérioration provenant de vices de fabrication ou de matière.

Il est accordé, dans les réceptions partielles une tolérance de 2 %, qui se réduit, pour la fourniture totale, à 1 %, en plus ou en moins sur le poids normal.

193. — Chevillettes. — Pour fixer les coussinets sur les traverses, on a employé des *chevillettes* formées d'une tige, tantôt cylindrique, de 15 à 18 millimètres de diamètre, tantôt prismatique, de 18 à 20 millimètres, surmontée d'une tête renflée qui s'appuie sur la semelle du coussinet; l'autre extrémité de la tige se termine, soit par une section droite, ou par un tronc de cône très obtus, soit enfin par un biseau. Toutes ces formes sont défectueuses, car, une fois enfoncées dans la traverse, les chevillettes compriment le bois jusqu'au moment où il a perdu son élasticité; à partir de là, le bois ne serre plus la chevillette, et l'attache du coussinet ne présente plus de solidité.

D'autres causes encore concourent à détériorer la chevillette, et doivent engager à en rejeter l'emploi : c'est l'usure qui se manifeste au collet de la chevillette dans toute la traversée de la semelle du coussinet (fig. 256). Cette usure laisse dans le trou de cette semelle un vide que rien ne décèle à l'extérieur, puisque le chapeau est en contact avec la semelle. D'autres fois, on rencontre un phénomène inverse : la chevillette se conserve intacte dans la traversée du coussinet, mais dans le bois elle se trouve réduite à l'état de clou (fig. 257), la pointe étant successivement attaquée par les réactions chimiques des matières ligneuses. Quand l'un de ces deux effets se présente, il est impossible de fixer l'attache du coussinet, puisque la chevillette est chassée à fond; il ne reste plus

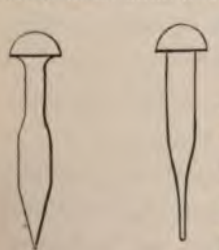


Fig. 256 et 257.
Usure des chevillettes, 1/5

d'autre ressource que celle de dessabotter la traverse et de replacer les coussinets sur un point où le bois possède encore une texture suffisamment saine.

Les inconvénients que présentent les chevillettes en fer ont engagé plusieurs ingénieurs à les abandonner, pour leur substituer des chevillettes en bois comprimé ; mais on a promptement renoncé à ce mode d'attache des plus défectueux.

Clous barbelés. – Ces attaches ont été employées sur les chemins bavarois pour fixer les coussinets sur les traverses ou les dés.

Le clou barbelé se compose d'une tige de $0^m,14$ de longueur, entre le chapeau et la pyramide qui forme la pointe ; cette tige a une section carrée de $0^m,012$ de côté sous le chapeau, et $0^m,009$ vers la pointe, qui elle-même a $0^m,020$ de largeur ; le chapeau a $0^m,048$ de diamètre, et $0^m,012$ d'épaisseur ; sur chaque arête sont pratiquées trois entailles s'ouvrant de bas en haut, et qui s'opposent au soulèvement du clou.

Pour préserver le fer du contact de la fonte et de l'usure qui pourrait en résulter, le trou du coussinet est rempli par une rondelle en bois, percée d'un petit trou destiné à faciliter l'entrée du clou.

Quand le coussinet est fixé sur un dé, le trou pratiqué dans la pierre est rempli par une cheville en bois dans laquelle on chasse le clou barbelé.

Comme les barbes des clous arrachent les fibres du bois lors de l'enfoncement, ces barbes ne sont que d'un effet assez insignifiant, aussi a-t-on renoncé à cette attache.

194. — Clous à vis et tire-fond. — Cette attache est fréquemment employée en France, en Allemagne, en Autriche, etc., où elle s'est substituée rapidement aux chevillettes et aux crampons.

Les clous tordus employés d'abord en Bavière et au Semmering pour maintenir les patins des rails Vignoles diffèrent des pièces analogues appliquées aux chemins de fer badois et prussiens :

1° Par le raccord de la tige avec la tête, raccord fait par un congé pour les premières, et par un angle droit pour les seconds ;

2° Par le nombre de révolutions qu'on a fait subir aux arêtes. A l'exception du clou à vis de Westphalie, qui a la tête carrée, les autres attaches ont la tête hexagonale.

Leurs dimensions étaient les suivantes :

DÉSIGNATION	CHEMINS DE FER		
	de Bade	de Westphalie	de Bavière
Hauteur de la tête.	12 m/m	13 m/m	15 m/m
Diamètre du cercle circonscrit . .	28	44	47
Diamètre de la tige	15	16	20
Longueur totale	150	157	90

Ces diverses attaches satisfaisaient aux conditions de résistance : enfoncées à coups de masse dans le bois elles y prenaient un degré de serrage énergique; mais, par suite du mode de fabrication, leur surface est rugueuse, et quand il s'agissait de les retirer de la traverse, on était obligé de déployer les plus grands efforts et de se servir de la pince pour les ébranler avant de pouvoir les dévisser.

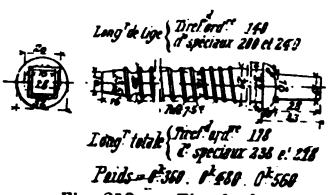


Fig. 258. — Tire-fond

Les tire-fond, qui ne sont autre chose que des chevillettes filetées à tête polygonale, ne présentent pas cet inconvénient.

La figure 258 indique le tire-fond employé par différentes Compagnies et notamment par les chemins de fer de l'Ouest.

La longueur totale est de.	178 m/m
— du collet à la pointe	140
— — au commencement de la partie filetée	30
Hauteur du collet	10
Diamètre du collet.	32
Hauteur de la tête au-dessus du collet	28
Largeur de la tête en haut	15
— bas	18
Diamètre de la tige sous le collet.	21
— à la pointe.	10
Diamètre extérieur du filet	20
Pas de la vis	7,5

Les dimensions générales varient peu et s'écartent rarement des limites ci-dessous :

Diamètre maximum, 19 à 23 millimètres ; longueur sous tête, 70 à 140 millimètres.

Le pas de vis varie de 7 à 10 millimètres.

La section du filet a la forme d'un triangle dont la base, parallèle à l'axe du tire-fond a $0^{m},004$ de longueur. La projection sur cette base, du côté tourné vers la partie supérieure, a une longueur de $1^{mm},5$ et la projection du troisième côté sur la même base, $2^{mm},5$. Cette disposition donne au filet une plus grande résistance à l'arrachement que si le triangle générateur du filet était isocèle. A la Compagnie du Midi, les projections de ces deux côtés sont réciproquement 1/4 de millimètre et 3 millimètres 1/4. Pour faciliter la pose des tire-fond, certaines Compagnies (Nord) font abattre au tour la première spire à partir de la pointe; l'ouvrier peut alors placer le tire-fond à la main et lui faire faire plusieurs tours avant d'employer la clé.

La figure 259 donne les dimensions du tire-fond adopté au chemin de fer de Dakar à Saint-Louis pour fixer des rails à patin du poids de 20 kilogrammes.

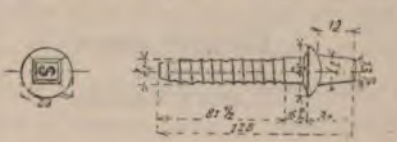


Fig. 259. — Tire-fond (Dakar à Saint-Louis).

La tête des tire-fond est tantôt hexagonale, tantôt à section carrée. Dans ce dernier cas, elle est terminée à sa base par une portée qui s'appuie sur le patin du rail.

Cette dernière disposition présente sur la première l'avantage de permettre l'entrée de la clé de desserrage sans difficulté, tandis qu'avec la tête hexagonale, il arrive quelquefois qu'un excès de pression l'a incrustée dans la traverse au point que la clé éprouve une certaine difficulté à opérer le desserrage.

Il est, en effet, recommandé d'introduire les tire-fond dans un trou préparé dans la traverse et de les visser au moyen d'une clé (fig. 284-A); en aucun cas on ne doit faire usage d'un marteau.

Les Compagnies prennent toutes les mesures possibles pour éviter toute infraction à cette règle, elles font réserver une pointe aigue sur la tête ou bien une ou deux lettres conventionnelles qui doivent toujours rester intactes.

Le filetage des tire-fond était jusqu'à présent exécuté à froid; les Compagnies françaises exigent presque toutes maintenant que cette opération soit faite à chaud.

Fabrication des tire-fond. — Après avoir découpé des tiges de fer d'un diamètre et d'une longueur déterminés par le type de tire-fond à fabriquer, on chauffe l'une des extrémités dans des fours rotatifs à soufflerie centrale puis on refoule la tête à l'aide de machines à balancier.

La tête étant ébarbée, on procède au filetage en animant la tige d'un

mouvement rotatif et en la faisant passer dans une filière glissant entre deux coulisses parallèles à l'axe du tire-fond. On fraise ensuite l'extrémité afin de faciliter l'entrée dans la traverse.

En substituant l'acier doux ou le fer fondu au fer ordinaire, la Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée a imposé le filetage à chaud par matriçage ou par laminage.

La tige chauffée convenablement est engagée entre deux étampes et animée d'un mouvement de rotation et d'avancement pendant lequel le filet se découpe dans la tige.

L'acier doux exigé par la Compagnie de Lyon correspond aux données suivantes :

Charge de rupture. . . .	45 kil. par $^{m}/^{m}$ carré
Allongement	18 à 22 pour cent.
Limite d'élasticité. . . .	22 kil. par $^{m}/^{m}$ carré

En vue de conserver la traverse d'abord, puis le tire-fond en le mettant à l'abri de l'action oxydante de l'air humide, on recouvre ce dernier d'une couche de matière isolante.

En France, on emploie presque exclusivement la galvanisation.

Après avoir nettoyé, dégraissé, décapé les tire-fond, on les immerge d'abord dans un bain alcalin formé de carbonate de soude ou de potasse et de chaux, dans lequel on injecte un jet de vapeur, puis dans un bain d'eau acidulée composé de 5/6 d'eau pour 1/6 d'acide chlorhydrique, on les rince à l'eau après quoi on les trempe dans un bain neutre de chlorure double de zinc et d'ammoniaque. On procède ensuite à un séchage dans une étuve à l'abri de l'air, puis on plonge les tire-fond dans un bassin contenant, à sa partie inférieure, du plomb fondu sur lequel surnage le zinc en fusion dans la proportion d'environ 1/3 de plomb et 2/3 de zinc.

Les pièces retirées du bain sont passées au tambour rempli de sciure de bois ou de sable fin, puis emballées pour l'expédition. La couche de zinc doit être nette et lisse sans empâtement ni trace d'oxyde de zinc.

En vue de s'assurer si la couche de zinc recouvrant les tire-fond est suffisante, le chemin de fer du Nord plonge une des pièces pendant 40 minutes dans un bain acide renfermant 10 grammes d'acide sulfurique monohydratée (66°) par litre d'eau, et le fer ne doit pas être mis à nu sur aucun point de la pièce.

D'autres Compagnies vérifient si l'épaisseur de la couche de zinc est suffisante pour protéger le fer contre quatre immersions d'une minute chacune

dans une dissolution de 20 parties de sulfate de cuivre dans 100 parties d'eau.

Cette opération est assez coûteuse et augmente le prix des tire-fond de 5 à 7 francs par 100 kilogrammes ; d'autre part, des essais comparatifs exécutés sur des tire-fond galvanisés et non galvanisés ont fait reconnaître que ces derniers présentaient une plus grande résistance aux essais.

La galvanisation s'emploie surtout lorsque les traverses sont injectées au sulfate de cuivre; lorsqu'elles sont préparées à la créosote, certaines Compagnies se contentent des tire-fond coaltarés d'un prix moins élevé.

196. — Boulons. — Avant l'emploi des tire-fond, quelques ingénieurs avaient adopté l'usage des boulons à écrou pour fixer les patins des rails Brunel ou des rails Vignoles au joint. Cette attache ne laisserait rien à désirer au point de vue de la solidité ; mais il n'en est pas de même sous le rapport de l'entretien courant, car les têtes de boulons doivent se trouver en dessous des traverses, et quand il faut les remplacer l'opération devient difficile; d'ailleurs, les écrous se rouillent rapidement, et pour enlever les boulons, il faut souvent les couper au ciseau à froid.

La figure 260 indique la disposition qui a été appliquée sur le South-Eastern-Railway.

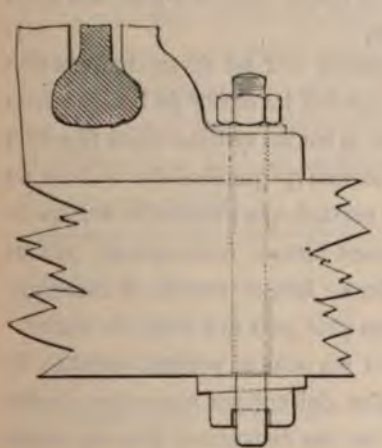


Fig. 260. — Boulon à clavette.

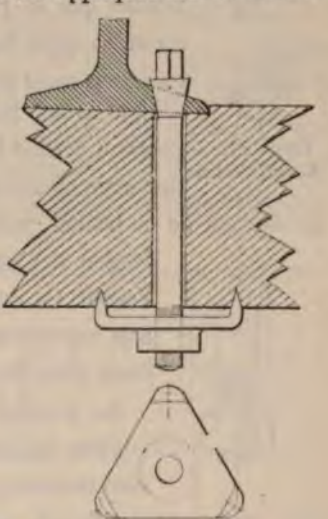


Fig. 261. — Boulon à crochet.

La figure 261 représente le boulon à crochets, *fang-bolts* qui sert à fixer le patin du rail Vignoles. Cet arrangement est préférable au précédent en ce que le pas de vis est moins exposé à la rouille et le serrage plus facile à obtenir.

197. — Boulons d'éclisses. — Les boulons sont universellement employés à fixer les éclisses au rail. Les types employés ne diffèrent entre eux que par la hauteur du pas du filetage, la forme de la tête, etc.

Sur le chemin de fer de Paris-Lyon-Méditerranée, le pas des boulons d'éclisses a $0^m,003$ de hauteur, le filet $0^m,002$ de profondeur, le fond et la partie saillante étant formés par la révolution d'un arc de cercle décrit avec un rayon d'un demi-millimètre.

La tige est munie sous la tête de deux arrêts, ergots ou étoquiaux qui, se logeant dans les encoches correspondantes des éclisses, maintiennent le boulon pendant le serrage des écrous. Cette simple disposition permet de n'employer qu'un seul modèle d'éclisse ou une seule clef pour serrer le même boulon (fig. 244, p. 450).

La figure 262 donne la forme des boulons d'éclisses employés sur les chemins de fer de l'Ouest. Entre l'écrou et l'éclisse, on interpose une rondelle en fer qui empêche le desserrage des écrous provoqué par la trépidation de l'assemblage sous l'action du passage des trains. Quelques ingénieurs ont muni le boulon de deux écrous pour s'opposer à cet inconvénient mais la pratique a démontré que la rondelle remplit le même but que le deuxième écrou, et qu'au bout de peu de temps, après une pose bien faite, les écrous ne se dévissent plus.

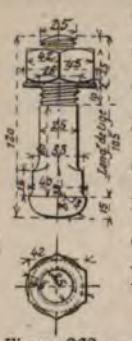


Figure 262. — Boulon d'éclisse

Nous avons indiqué au numéro 182 les divers moyens proposés en dernier lieu pour empêcher les écrous de boulons de se desserrer, ajoutons un mot sur le boulon système Linet (fig. 263) Le filetage de ce boulon présente une surface perpendiculaire à l'axe du boulon et c'est sur cette surface que s'exerce le serrage de l'écrou. Ce dernier est avant filetage fendu par un trait de scie suivant un rayon afin de former ressort, le taraudage étant d'un diamètre un peu plus petit que celui du boulon.

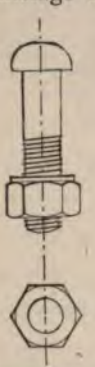


Figure 263. Boulon indesserrable Linet.

Au premier abord, tous ces détails peuvent paraître de minime importance. Ils n'en doivent pas moins être étudiés avec beaucoup de soins, car une disposition plus ou moins intelligente amène une augmentation ou une réduction de travail dans l'entretien de la voie, et par conséquent un accroissement de sécurité de circulation.

198. — Crampons. — Le crampon le plus généralement employé est formé d'une tige à section octogonale (fig. 264) carrée ou

rectangulaire, terminée d'un côté par une tête évasée, ou à oreilles, et de l'autre par une partie obtuse, un taillant, ou enfin, une pointe pyramidale. Quand l'extrémité est disposée en taillant (fig. 265), il est indispensable que celui-ci soit dirigé parallèlement à l'axe de la voie, de manière à couper le bois perpendiculairement à la direction des fibres ; si on le plaçait dans le sens des fibres, le crampon ferait office de coin et provoquerait des fentes dans la traverse, qui, par là, deviendrait impropre au service. Cette observation sur la direction du taillant s'applique également aux clous et aux chevillettes.

Figure 264. — Crampon (Lyon) 3/10.

Figure 265. — Crampon (Ouest) 3/10.

Il faut avoir soin dans l'étude du modèle de crampon, de ménager une transition aussi amincie que possible, pour le passage de la tige à la tête. L'arrangement représenté par la figure 265 est vicieux en ce que le creusement sous la tête donne une tendance à la séparation de la tête.

Les crampons sont encore employés par certains ingénieurs de préférence aux tire-fond, ces derniers présentant souvent de très grandes difficultés au démontage, arrachant le bois et ne pouvant plus être replacés dans le même trou ou bien le trou perdu pouvant être difficilement bouché à l'aide d'une cheville en bois. Voici les principales dimensions des crampons employés par diverses compagnies.

DÉSIGNATION des ÉLÉMENTS	BADE	BAVIÈRE	PALATINAT BAVAROIS	EST — HAINAUT et FLANDRE	LYON	OUEST	THESSALIE Crampon ordinaire	THESSALIE Crampon d'arrêt
Longueur totale du crampon . . .	132	145	172	142	150	162	120	250
Longueur de la tige à section uniforme	72	90	110	74	120	90	93	218
Largeur de la tige	15	15	15	17	19	18	13	13
Épaisseur. . . .	15	15	13	14	19	14	13	13
Saillie du nez. . .	18	12	10	18	15	16	14	19

199. — Bagues Desbrières (fig. 266). M. Desbrières, ancien ingénieur aux chemins de fer algériens, a publié dans les mémoires et compte rendu des travaux de la Société des Ingénieurs civils de France — 3e cahier 1863 — une note très intéressante sur un perfectionnement apporté par lui dans l'emploi des crampons. Ce procédé consiste à loger dans la traverse immédiatement au-dessus du trou du crampon une bague en fonte percée d'un trou de section égale à celle du crampon. Ce dernier, mis en place, s'appuie contre la fonte de la bague, qui présente une résistance beaucoup plus grande que le bois.

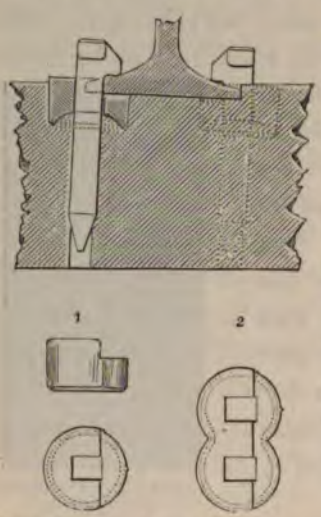


Figure 266. — Bagues Desbrières. 1, intermédiaires, 2. de joints 1/5.

Ce système, appliqué surtout aux traverses en bois tendre dans lequel les crampons prennent rapidement du jeu, présente des avantages sérieux comme palliatif, là où le déplacement latéral des rails est à craindre. Depuis 1862, il a été appliqué, avec succès, sur plusieurs chemins de fer français et étrangers, notamment ; au chemin de fer du Nord français dans des traverses en pin des Landes ou en sapin du Nord ; — au chemin de fer d'Enghien à Montmorency, dans des traverses en chêne posées sur courbes de 200 mètres de rayon : au chemin du Médoc, etc., etc;

Les bagues Desbrières facilitent l'usage des bois tendres et trouvent leur emploi dans la construction des chemins de fer à bon marché.

200. — Conditions de fabrication. — Toutes les pièces dont nous venons d'indiquer les formes et la destination sont soumises à des efforts considérables en tous sens ; elles doivent être fabriquées avec un métal de première qualité et par des procédés qui n'altèrent pas la résistance.

L'agent chargé de surveiller la fabrication s'assurera que le fer destiné à former les pièces de la commande réunit toutes les conditions de sécurité désirables. Le métal ne doit être cassant ni à chaud ni à froid ; il faut que l'on puisse facilement l'étirer sous le marteau, le souder, le percer à chaud et à froid, sans criques ni gerçures ; on exige qu'il présente au cisaillage une coupe grasse et franche, sans arrachements ni déchirures, que sa cassure ait une couleur claire ; qu'il n'offre enfin aucune trace de soudures, pailles, brûlures ou défauts d'épuration.

La tête des chevillettes, tire-fond, boulons et crampons sera toujours refoulée dans la masse et non rapportée. Autant que possible on doit faire venir ces têtes au laminage en barres continues et découpées à chaud suivant les longueurs prescrites, un simple réchauffage suffit alors pour terminer les têtes à la forme voulue, mais le refoulement et la façon devront être opérés de manière à ne pas altérer la texture du fer, principalement vers la jonction de la tige et de la tête. Les arêtes doivent être très vives et régulières, les surfaces parfaitement unies, droites et sans coutures, les têtes exactement centrées et perpendiculaires à la tige. L'extrémité des boulons et tire-fond sera légèrement chanfreinée avant le filetage. Les parties filetées ne conserveront aucune trace de feu. Les écrous peuvent être enlevés dans la masse ou fabriqués par enroulement, mais dans ce cas, la soudure doit être faite à cœur et sur une longueur au moins égale à deux fois l'épaisseur de l'anneau.

201. — Réception. — Tous les fers employés dans ces diverses fabrications devront être essayés et résister aux épreuves suivantes :

On enfonce les bouts découpés dans un bloc en fonte percé d'un trou de même section et on frappe latéralement sur le fer à essayer jusqu'à ce qu'il se plie sous un angle d'au moins 45 degrés. Retiré du trou et plongé dans l'eau pour le faire refroidir, puis redressé à froid, il ne doit présenter ni criques, ni déchirures, ni dessoudures ou autres détériorations. Cette épreuve s'exécute aussi en enfonçant le fer à essayer dans un bloc de chêne, mais elle est moins concluante. La Compagnie d'Orléans exige que le tire-fond puisse être coudé à 90° sans qu'il y ait rupture ou crique.

Soumis à la traction dans le sens du laminage, le fer doit supporter, sans allongement permanent un effort de 16 kilogrammes par millimètre carré de section et dans le sens perpendiculaire 15 kilogrammes. Les épreuves poussées jusqu'à la rupture devront accuser une résistance supérieure à 40 kilogrammes dans un sens et 35 kilogrammes dans l'autre. Ces épreuves s'appliquent également aux boulons armés de leurs écrous. On essaie aussi les écrous isolés en enfonçant dans le trou, à coups de marteau, un poinçon d'acier, jusqu'à la rupture; on peut s'assurer par là de l'état de la soudure. Si plus du dixième des pièces éprouvées subit une grosse détérioration, le lot doit être refusé.

Vérification. — Toutes les pièces doivent être exactement conformes aux dessins et aux modèles et épouser parfaitement les gabarits de vérification. Les faces de contact doivent être sans bavures, les arêtes, vives et régulières.

Le filetage des écrous, des boulons et des tire-fond aura la longueur prescrite et sera bien régulier; chaque écrou ne devra point balotter sur son boulon; il pourra s'adapter à tout boulon, choisi au hasard et réciproquement. Il n'est accordé aucune tolérance sur le diamètre et la longueur des parties filetées, car à l'emploi, lors de la pose, il peut arriver que les écrous tournés à fond ne produisent pas le serrage voulu, ce qui entraîne la sujétion d'augmenter le nombre des rondelles. Quant aux parties droites, on peut admettre. sans inconvénient, une tolérance de 1/2 millimètre sur les diamètres ou les épaisseurs, et 1 millimètre sur les longueurs. La face de serrage de l'écrou doit être rigoureusement perpendiculaire à la tige du boulon, de manière à intéresser toute la section du boulon dans la résistance à l'effort qu'il supportera. Les rondelles bien planes, doivent être recuites après le découpage, pour leur rendre la ductilité que l'écrouissage peut leur avoir fait perdre.

Garantie. — Le fabricant est toujours responsable de sa fourniture depuis le moment où il la livre de l'usine jusqu'à l'expiration du délai de garantie. Pour éviter, à cet égard, toute contestation, il est nécessaire que chaque pièce porte la marque indestructible du fournisseur; elle sera donc appliquée sur un point de la tête que les outils de pose et d'entretien ne peuvent pas détériorer; sur remise des têtes des pièces avariées, le fabricant doit, suivant les conventions, les remplacer par des pièces en bon état. Dans d'autres cas, on constate seulement l'état des pièces à l'expiration des délais de garantie, et le fournisseur indemnise l'administration de la valeur de la détérioration, les pièces avariées demeurent d'ailleurs la propriété du chemin de fer.

Poids. — Le poids normal des pièces est constaté au début de la fabrication en comparant les cotes des dessins à celles des pièces exécutées. L'administration ayant déclaré acceptables les pièces présentées, on en constate le poids, qui sert pour toute la fourniture, avec une tolérance de 1 à 2 °/₀ en plus ou en moins.

Expéditions. — Pour préserver ce petit matériel des avaries, il doit être enduit d'un corps gras, et conservé à l'usine dans un lieu très sec. L'expédition s'en fait par barils en bois qui contiennent toujours un même nombre de pièces de même espèce; le baril doit porter en lettres ou chiffres indélébiles le nombre et le poids des pièces renfermées. L'agent réceptionnaire plombe ces barils ficelés en sa présence, et son plomb sert de marque de réception à l'usine.

Le fabricant est responsable du conditionnement de cet emballage et subit

toutes les conséquences des détériorations qui pourraient se présenter jusqu'à l'arrivée du matériel au lieu de dépôt, où une nouvelle vérification doit être faite sur chaque pièce fournie.

Modifications. — Dans toutes les conventions entre les administrations de chemins de fer et les constructeurs ou fabricants, il doit être entendu et stipulé que l'administration aura toujours le droit, en cours d'exécution de modifier la forme des pièces commandées, en prenant toutefois livraison des produits déjà fabriqués. Cette condition est de rigueur, car elle permet aux ingénieurs de profiter de toutes les améliorations qui peuvent se présenter pendant l'exécution d'une commande.

CHAPITRE VII

PRÉPARATION, POSE ET ENTRETIEN

§ I

Conservation des bois.

202. — Généralités. — Pendant longtemps on a admis que les parties constitutives des végétaux se composaient d'un tissu fibreux, *la cellulose* des chimistes et d'une matière incrustante, le *ligneux* qui remplissait les cavités de ce tissu.

Les savants travaux de M. E. Frémy sur la composition chimique du squelette des végétaux ont fait connaître que certains corps non définis jusqu'alors accompagnaient la cellulose et constituaient avec elle de *véritables associations organiques et qu'ils formaient des éléments constitutifs comme la cellulose elle-même.*

Les corps cellulosiques de Frémy ont la même composition que la cellulose, savoir :

Carbone.	44,44.
Hydrogène. . . .	6,18.
Oxygène.	49,38.

Le ligneux, par contre, renferme sous des proportions très variables, des substances organiques formées de carbone, d'hydrogène, d'oxygène et d'azote dissoutes dans la sève et déposées par ce véhicule pendant sa circulation dans les cavités de la cellulose.

En examinant la section transversale d'un arbre (fig. 214-215), on voit que le bois se compose de couches concentriques superposées. Les couches centrales étant de formation plus ancienne que les couches extérieures renferment une plus grande proportion de matière incrustante que ces dernières.

Les couches centrales sont le *cœur* de l'arbre, les couches extérieures

l'aubier. Contenant beaucoup plus de matière incrustante et dure, moins de substances albumineuses, le cœur résiste plus que l'aubier aux altérations des substances azotées, sous l'influence de l'air et de l'humidité, et *vice versa*. Ainsi, les essences dites de *bois tendre*, celles qui ont beaucoup d'aubier s'altèrent plus rapidement que les essences de *bois durs*.

Les causes de ces altérations ne sont pas bien définies ; aussi la recherche des moyens de les combattre manque-t-elle d'une base sûre.

En supposant que la *pourriture* des bois proviennent de la décomposition des matières azotées par la fermentation, et de la destruction opérée par les insectes qui se nourrissent de ces substances, on préviendrait cette altération, tout au moins en ralentirait-on les progrès, en faisant réagir sur les matières azotées les agents chimiques reconnus par l'expérience comme les plus propres à empêcher la fermentation des substances animales, en se combinant avec leurs éléments putrescibles.

Partant de cette hypothèse, on a tenté de préserver les bois de la décomposition, à l'aide de diverses matières connues pour leurs propriétés antiseptiques. Mais en supposant que l'on ait découvert un corps positivement propre à conserver le bois, le problème ne serait pas complètement résolu, car il faut non seulement que les dépenses d'application de ce corps ne s'élèvent pas à un taux hors de proportion avec le résultat voulu, mais de plus que de sa nature ce corps supporte, sans altération, les influences du milieu dans lequel il sera exposé, tout en restant neutre à l'égard des fibres non azotées du bois et des fers de la voie.

En ce qui touche particulièrement la conservation des bois employés à la construction de la voie, il faut que les dépenses occasionnées par les procédés de préservation soient inférieures au coût de remplacement de ces bois ; sans cela il n'y aurait aucun intérêt à se préoccuper de la question. Et à ce sujet, on ne perdra pas de vue que les traverses deviennent impropres au service, moins peut-être par la décomposition organique elle-même, que par les effets mécaniques de la circulation, par la fente, par le déplacement plus ou moins fréquent des attaches, etc., etc., toutes causes de destruction échappant aux procédés de conservation.

Le nombre des substances applicables à la conservation des bois est donc assez limité et l'efficacité de ce petit nombre n'étant pas absolument démontrée, rien d'étonnant dans la résolution de renoncer à toute préparation prise par plusieurs administrations en Allemagne et en Russie, notamment, en raison des conditions particulières où se trouvent leurs chemins : qualités du ballast ; bas prix des bois, de la main-d'œuvre, etc.

Historique. — De tout temps la question de préservation des bois s'est imposée aux préoccupations des observateurs. Quoique ignorant les lois constitutives des végétaux, les anciens, par intuition, n'en essayaient pas moins de poursuivre le but proposé, tantôt en faisant écouler la sève des arbres sur pied, à l'aide d'incisions pratiquées à la base du tronc avant l'abatage, tantôt en appliquant à la surface des bois ouvrés des enduits résistant plus ou moins heureusement aux agents atmosphériques.

Ce dernier procédé, loin d'avoir une efficacité quelconque sur les bois encore verts est reconnu aujourd'hui, comme accélérant la décomposition des bois, puisqu'il met obstacle à leur dessiccation.

La période véritablement scientifique de la question date seulement du jour où les savants découvrant les lois de la végétation, le mode de formation et les principes constitutifs des plantes, ont donné à l'industrie la direction des recherches qui peuvent conduire au but.

C'est ainsi que Néhémie-Grew, de la Baisse, Duhamel du Monceau, Charles Bonnet, Pallas, aux XVIIe et XVIIIe siècles ont ouvert la voie parcourue de nos jours par MM. Fourcroy, de Mirbel, de Candolle, Dutrochet, Guy-Lussac et Thénard, Biot, Dumas, Liebig, Hartig, Payen, etc., etc., auxquels la science doit les plus heureuses découvertes sur la physiologie des végétaux.

On lit dans l'ouvrage de John Knowles. — *Recherches sur les moyens employés par l'Amirauté pour préserver les bois des navires de la pourriture*, que dès 1756, le savant Hales, déjà cité, conseillait de tremper les bordages des vaisseaux dans l'huile végétale, pour leur donner une longue durée.

Reed, en 1740, avait déjà préconisé l'emploi de l'acide pyroligneux, sans aucun doute, en raison des effets obtenus par la créosote que renferme ce produit.

A un autre point de vue, on essayait encore de chauffer les bois. Duhamel dans son traité de l'exploitation des forêts et Pallas engageaient les constructeurs à soumettre les bois à une dessiccation artificielle. La carbonisation même plus ou moins superficielle était préconisée malgré les insuccès constatés sur plusieurs navires préparés par ce procédé.

En 1813, Champy imbibait de suif les bois destinés à l'emmagasinage des poudres. Maintenu pendant quelques heures, dans un bain de suif chauffé à 200° le bois perdait son eau, ainsi transformé en vapeur, que le suif remplaçait par le refroidissement de la masse.

En 1828, M. Laughton prenait patente pour un procédé de préservation des bois à l'aide du chauffage et de la dessiccation par le vide.

Mais la période véritablement industrielle de la préparation des bois ne date que de 1831. A cette époque, M. Bréant, vérificateur général des essais à la Monnaie de Paris, prenait un brevet pour l'injection dans le bois de liquides antiseptiques, et poursuivait ses recherches jusqu'en 1838. Dans son procédé, Bréant soumettait les bois à la dessiccation par le vide obtenu au moyen d'un condensateur à vapeur (A. fig. 267), et à l'injection du liquide antiseptique refoulé dans le cylindre à préparation B, par la pompe C.

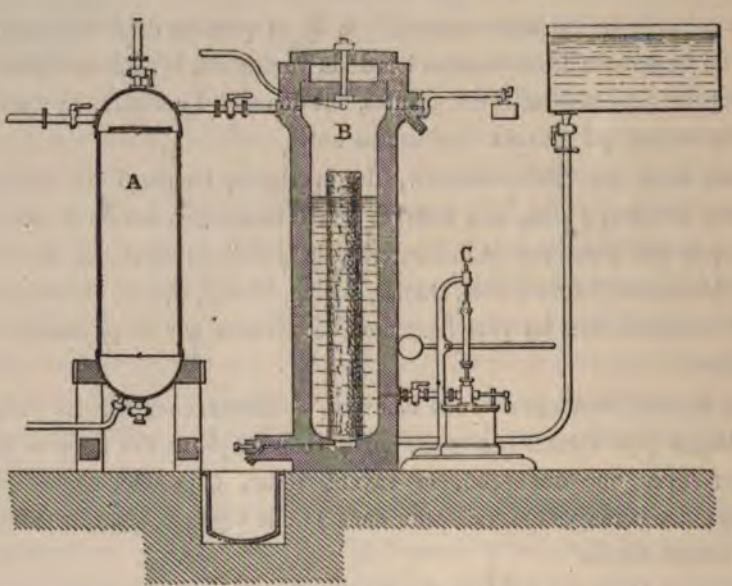


Fig. 267 — Injection des bois. — Procédé Bréant.

Ce procédé coûteux par l'exiguité des appareils a été rendu pratiquement applicable par Payn, patenté en juillet 1841, qui a pu s'en servir à la préparation des traverses de chemins de fer. Il a servi de point de départ aux procédés décrits au numéro 210.

En 1833, le célèbre Faraday rendait compte à la Société royale de Londres du mode de préparation (patenté en mars 1832) employé par Kyan pour préserver de la pourriture les bois de navires. Kyan immergeait les pièces dans une dissolution froide d'une livre de bichlorure de mercure dans cinquante litres d'eau, les y laissait pendant un mois et les desséchait ensuite.

Pour prévenir les accidents ultérieurs, le sublimé corrosif ayant saturé les

matières azotées, on devait enlever l'excédent du poison par un lavage à l'eau albumineuse (208).

En 1835, le Docteur Moll demandait patente pour son système de préservation des bois obtenue au moyen des vapeurs de créosote et d'eupione injectées à la suite du vide produit par la vapeur d'eau condensée.

Le 11 décembre 1837, M. le Docteur Boucherie déposait sa demande de brevet pour l'injection des bois par succion vitale. L'obtention de ce brevet qui avait lieu le 23 mars 1838 précédait la patente de John Bethel, datée du 11 juillet 1838, suivie elle-même d'un certificat d'addition délivré à M. Boucherie, le 15 avril 1839.

L'idée première de M. Boucherie reposait sur l'injection du liquide préservateur, obtenue par l'utilisation de la puissance d'aspiration que possèdent les végétaux à l'état vivant.

Il pratiquait au pied de l'arbre à préparer une incision circulaire qui baignait dans un petit réservoir alimenté par la liqueur antiseptique.

Mais ce procédé très-ingénieux qui ne remplissait que bien imparfaitement le but industriel, a été abandonné et remplacé par celui que nous décrivons plus loin. (205).

Bethel chauffait les traverses à 110° pendant quelques heures, puis il les plongeait dans une chaudière remplie de goudron.

Enfin, il les injectait aussi de sulfate de cuivre, les desséchait et les imbibait ensuite de goudron.

En mars 1840, Brunel prend patente pour la préparation des bois à l'aide d'une solution d'eau saturée de chlorure de zinc. MM. Renard, Perrin et Testud de Beauregard, prenait, en 1846, un brevet pour la préparation du bois par le vide et la pression atmosphérique. L'inspection de la figure 268 dispense ici de toute explication; nous y reviendrons plus loin.

Mentionnons encore la méthode brevetée, vers 1854, par MM. Buttner et Mœring, de Dresde, décrite au numéro 209; enfin, les divers perfectionnements et additions appliqués par MM. Léger, Fleury et Pyronnet, Dorsett et Blythe, etc., etc., à la préparation des traverses de chemin de fer et qui réunissent tous les avantages des divers procédés ou indications dont le point de départ se retrouve dans les inventions de Bréant, Moll, Payn et Berthel.

Quant à la préparation par la carbonisation, elle a été reprise dans ces dernières années sur la recommandation de M. Lapparent. (213).

203. — Matières antiseptiques. — Les conditions essentielles

à rechercher dans un réactif propre à la préparation des traverses se résument ainsi : efficacité ; manipulation facile ; prix de revient modéré.

Les substances connues comme satisfaisant le mieux à ces *desiderata* sont :

Le sublimé corrosif ou bichlorure de mercure ;

Le chlorure de zinc ;

Le sulfate de cuivre ;

La créosote.

Beaucoup d'autres corps, tel que le pyrolignite de fer, le sulfate de fer combiné avec le chlorure de barium, le sulfate de zinc, etc., etc., ont fait l'objet d'applications plus ou moins importantes, mais on les a reconnus ou inefficaces ou nuisibles ; aussi s'en tient-on aujourd'hui aux quatre antiseptiques indiqués plus haut.

Le bichlorure de mercure possède une efficacité bien connue, et mise en relief depuis que les ingénieurs anglais Newmann de Cheltenham et Kyan ont fait l'application à la préparation des bois de diverses constructions et notamment des traverses des chemins de fer depuis 1832.

Malgré le prix élevé de ce produit, on l'emploie sur les chemins de Bade, au Nord de la Hesse, de Bebra-Hanau, du Main-Weser, de la Verra, du Main-Neckar, du Wurtemberg et de Rhein-Nahe.

Le chlorure de zinc, neutre, a donné de très bons résultats à l'Amirauté anglaise, aux chemins allemands d'Altona-Kiel, Brunswick, Mecklembourg, Hanovre, Lubeck-Büchen et Ouest-Saxon, aux lignes télégraphiques Hollandaises et Prussiennes dans les terrains sablonneux.

Par contre, ce réactif a échoué sur les chemins de Bade, Cologne-Mindey, Kaiser-Ferdinand, et sur les lignes télégraphiques déjà citées dans les terrains calcaires. Ces échecs sont attribués par les partisans du chlorure de zinc à l'application du réactif par simple coction à l'air libre ; il faut d'après leur expérience l'employer par injection sous pression.

La reprise des travaux de mines de cuivre exploitées par les Romains, a, depuis longtemps, mis en évidence la propriété que possède le sulfate de cuivre de conserver le bois ; mais l'application industrielle de ce réactif n'a pris une grande extension, principalement en France, que depuis l'exploitation du procédé Boucherie. Cependant la vogue dont a joui le sulfate de cuivre se perd depuis quelques années, notamment en Belgique et sur les chemins d'outre-Rhin. En 1865, quinze chemins allemands l'employaient ; en 1868, le nombre de ces chemins s'est trouvé réduit à six.

La faveur de la créosote a suivi une marche inverse ; employé à l'origine sur quelques rares chemins, cet antiseptique est exclusivement adopté aujour-

d'hui par la majeure partie des lignes anglaises et par l'État Belge. On le rencontre encore sur les chemins de Cologne-Minden, Basse-Silésie, Est-Prussien, Saarbruck, Rhein-Nahe et la plupart des chemins français, où on l'emploie concurremment avec le sulfate de cuivre.

Lorsqu'on distille le bois en vase clos, on recueille un certain nombre de produits carbonés, le goudron de bois entre autres. La distillation de ce goudron donne des matières huileuses contenant un corps soluble dans la potasse: c'est la créosote $C^{26} H^{16} O^{4}$, huile incolore fortement odorante, très vénéneuse bouillant à 203°, peu soluble dans l'eau, mais très-soluble dans l'alcool et l'éther, qui jouit de la propriété de coaguler l'albumine et d'empêcher la décomposition des matières organiques.

Par assimilation, on désigne dans l'industrie, sous le nom général de créosote, un mélange très-complexe de différents corps que l'on obtient en distillant le goudron recueilli dans la fabrication du gaz d'éclairage à la houille.

Les produits de cette distillation peuvent se fractionner en diverses catégories d'après leur température de volatilisation.

Dans la première catégorie se rangent les eaux ammoniacales et les carbures d'hydrogène, tels que la benzine volatile entre 60° et 100°. Dans la seconde on trouve les huiles lourdes qui distillent entre 100° et 200°, donnant des carbures d'hydrogène azotés comme l'aniline, des carbures d'hydrogène et des carbures d'hydrogène oxydés comme l'acide phénique et la créosote.

De 200° à 300° on retire des huiles très lourdes et des graisses vertes qui renferment encore des carbures d'hydrogène comme la naphtaline et des alcalis comme la quinoléine (leukol). Enfin, le résidu de la distillation poussée au-delà de 300° est un brai très-cassant.

Parmi tous ces corps, dont la plupart ne diffèrent entre eux que par l'arrangement de leurs éléments, quel est celui qui, dans la préservation des bois, remplit le plus efficacement le rôle d'antiseptique?

C'est là une question encore à résoudre. Quelques savants pensent que l'action préservatrice des huiles du goudron de houille est due à l'acide phénique.

Cependant les ingénieurs des chemins de l'État Belge préfèrent, comme liquide conservateur, les huiles qui proviennent de la distillation à haute température, supérieure à 200°, par conséquent renfermant un peu d'acide phénique.

De leur côté, les ingénieurs du chemin de fer du Nord exigent dans l'huile

une proportion de 15 % en acide phénique, sans appuyer cependant leurs préférences par des résultats d'expérience.

Sans plus de motifs, le chemin de fer de l'Est demande au minimum huit parties d'acide phénique sur cent parties de créosote du commerce.

Enfin, à titre d'application de la créosote, nous citerons encore le brevet pris en 1835 par le docteur Moll qui indiquait, comme spécialement préservatrice la vapeur d'eupione et de créosote.

Cette idée combinée avec le séchage artificiel ou étuvage des bois se retrouve dans le brevet de M. Blythe, du 6 mars 1869.

Par des expériences très suivies, M. Forestier, ingénieur en chef des ponts et chaussées, a constaté que les bois suffisamment pénétrés de créosote du commerce résistent à l'action destructive du taret, tandis que, les mêmes essences préparées par les autres substances recommandées comme préservatrices, sont très rapidement dévorées par ces mollusques (1).

Si la destruction spontanée des traverses est due à l'attaque des animaux ou des agents atmosphériques, la créosote doit, dans les climats du Nord, agir efficacement pour protéger le bois.

Aussi, sous l'empire de cette conviction, depuis 1868, les ingénieurs du chemin de fer de l'État Belge ont adopté le créosotage des traverses, à l'exclusion de tout autre système de préparation.

204. — Classement des procédés de conservation. — Envisagés uniquement au point de vue de la préparation mécanique, les divers procédés appliqués aujourd'hui à la préservation des traverses de chemin de fer peuvent se ranger dans quatre classes :

1° Injection par circulation vasculaire ;

2° Injection par imbibition à l'air libre ;

3° Injection en vase clos sous pression ;

4° Carbonisation superficielle.

A chaque classe se rattachent différents modes de préparation dans lesquels interviennent : la dessiccation naturelle ou artificielle des bois, l'emploi de la vapeur d'eau ou des pompes pneumatiques pour enlever l'air et l'eau renfermés dans le tissu ligneux ; l'application à une température et sous une pression plus ou moins élevée, de la liqueur antiseptique, etc., etc.

Nous décrirons d'abord chacun de ces procédés dans ses parties essentielles, puis en l'absence d'autre critérium, nous résumerons sous forme de

(1) *Annales des Ponts et Chaussées* 1868.

conclusion, dans un état récapitulatif, les résultats statistiques fournis par chaque méthode.

205. — Injection par circulation vasculaire. — *Procédé Boucherie.* Le principe de ce procédé repose sur la propriété que possèdent les végétaux, de se laisser parcourir par un liquide dans le sens de leurs vaisseaux longitudinaux.

Les bois auxquels on applique cette méthode avec succès sont : le hêtre, le charme, le bouleau et l'aune. Les bois de pin et de sapin d'un certain âge ne sont plus considérés comme pouvant donner de bons résultats, parce qu'ils ont trop de cœur. Les chemins de l'Est et du Nord n'admettent plus à la préparation Boucherie que le hêtre et le charme.

On sait que par le procédé de M. le docteur Boucherie, les arbres ne se préparent qu'en grume, c'est-à-dire lorsqu'ils sont encore complètement recouverts de leur écorce. On découpe généralement les troncs à la première grosse branche, ils doivent être parfaitement sains, sans pourriture, ni cœur rouge ; celui-ci, doit en tout cas, être enlevé lors du débitage en traverses.

Les bois se prêtent mieux à la pénétration lorsque, abattus depuis quinze jours au plus, ils ont été dépouillés de leurs branches immédiatement après l'abatage, pour conserver au tronc l'humidité de la sève. On a soin de ménager aux deux extrémités un excédent de longueur d'un décimètre afin de pouvoir rafraîchir, c'est-à-dire renouveler les sections d'introduction et de sortie de la liqueur préservatrice, quand elles sont oblitérées par les impuretés du liquide et les matières séveuses entraînées pendant l'opération ; le ralentissement de la pénétration est indiqué par la diminution de l'écoulement du liquide à l'extrémité libre de la bille.

Il est reconnu que les arbres abattus pendant les mois de janvier, février, mars, et tronçonnés, c'est-à-dire dépouillés de leurs branches aussitôt après l'abatage peuvent être préparés sans difficulté jusqu'à la fin de mai.

Dans les forêts de l'État, le dernier délai d'abatage est fixé au 15 avril. Il est donc nécessaire d'établir des chantiers suffisants pour traiter avant le 1er juin tous les bois approvisionnés.

Il est très important que les nœuds, dont la présence n'a aucune action nuisible sur les pièces à préparer ne soient pas coupés ras sur le tronc en forêt. Ces nœuds sont avivés à la hache sur le chantier, pour provoquer le passage du liquide, et abattus seulement après l'entière préparation des billes.

Il est bon d'employer pour la dissolution du sulfate de cuivre, l'eau la plus limpide et contenant le moins possible de sels calcaires. La quantité de

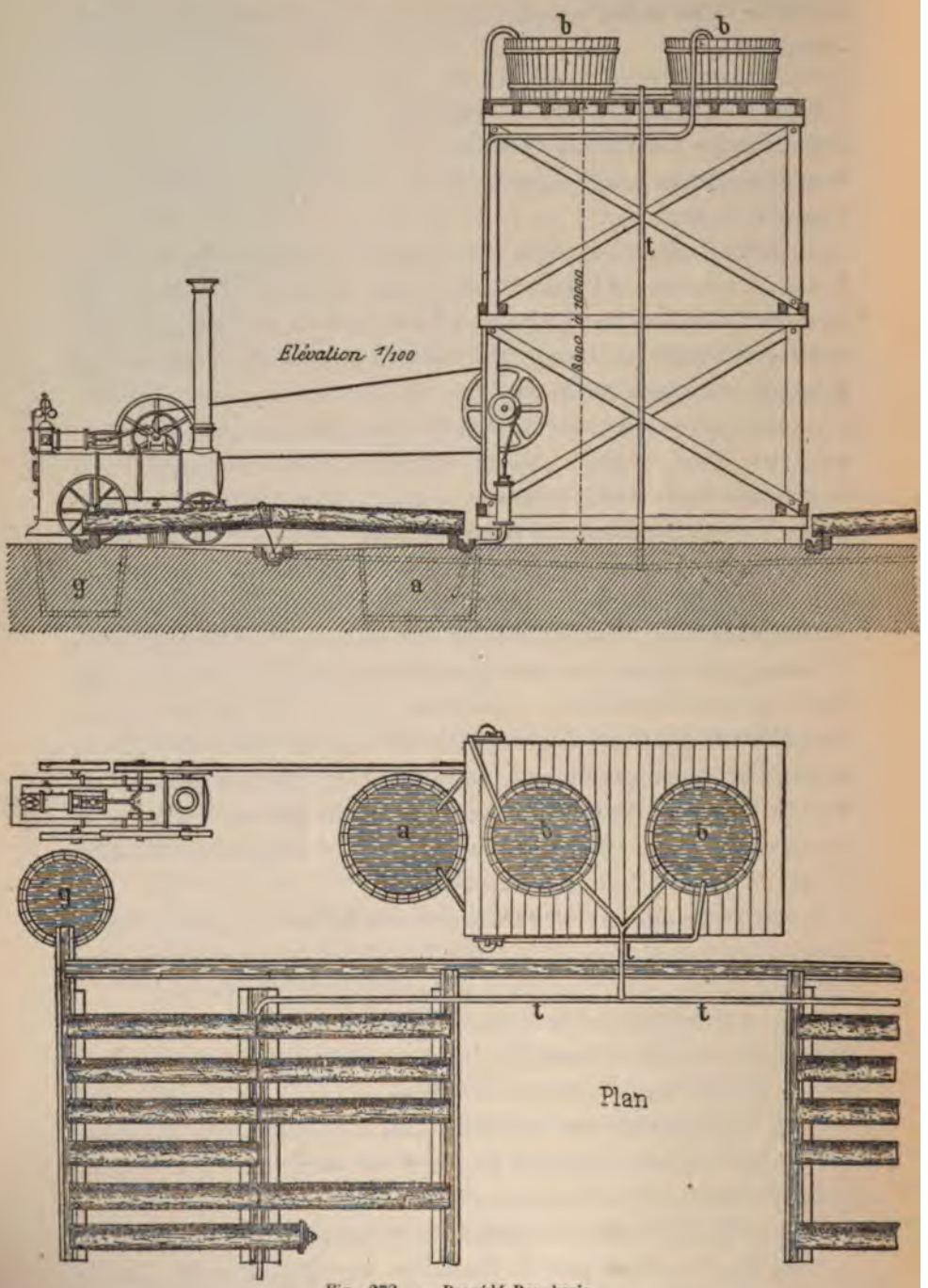


Fig. 272. — Procédé Boucherie.

sulfate de cuivre dissoute, varie entre 1 et 2 kilogrammes par hectolitre d'eau et celle introduite dans les bois entre 5 et 6 kilogrammes par stère.

Avant la mise en chantier, les bois, quelque soit le temps écoulé depuis leur abatage, sont rafraîchis aux deux bouts, c'est-à-dire écourtés, pour provoquer l'écoulement du liquide et donner aux pièces la longueur voulue.

On peut préparer des billes à la longueur des traverses ou à une longueur double. Dans ce dernier cas, on donne un trait de scie au milieu de la longueur de la bille (fig. 269), en conservant intact un segment de la section totale, segment qui doit être un minimum, comme nous le verrons plus loin; on introduit alors dans le trait de scie un petit anneau de corde (fig. 270), qui forme ainsi un réservoir où arrive la dissolution du sel. Dans l'autre cas, on place l'anneau de la corde entre le bout de la bille rafraîchie et un plateau en bois (fig. 271).

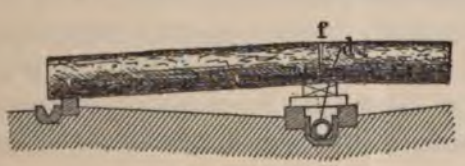


Fig. 269

Fig. 270

Fig. 271.
Injection des bois (procédé Boucherie).

Dans la *préparation à la corde*, on a soin en donnant le trait de scie de ne conserver intacte que la quantité de bois strictement nécessaire pour maintenir la liaison des deux parties de la bille.

En laisser trop, ce serait augmenter la proportion de bois non préservée, la liqueur ne pénétrant pas transversalement dans le bois.

En plaçant la corde, il est important qu'elle affleure l'écorce sans masquer le bois afin de laisser la plus grande partie possible de la section de l'arbre en communication avec le liquide.

Les bois doivent être décrassés au moins deux fois sur la section d'entrée du liquide, pour que la pénétration ait lieu jusqu'à la partie centrale.

Pour la longueur ordinaire des traverses, la durée de préparation varie de

quarante-huit à cent heures, selon l'état de l'atmosphère. Les pièces qui, au bout de ce temps, ne donnent pas au centre une apparence de cuivre bien prononcée sont retournées ou *relancées*, comme dit le cahier des charges de l'Est, c'est-à-dire qu'on les charge au moyen de plateaux (fig. 272), par le point de déchargement primitif. Cette seconde opération peut durer de douze à vingt heures.

Après le débit à la scie, on doit regarder comme mal préparées :

— Les pièces dans lesquelles le sel de cuivre ne paraît pas réparti d'une manière uniforme sur toute la surface ;

— Celles qui ne donneraient pas au réactif (solution de cyanure double de fer et de potassium) une teinte rouge-sang après l'enlèvement, à l'herminette de la surface de sciage ;

— Enfin, les pièces présentant les veines blanches dans la section transversale de déchargement où celles correspondantes aux nœuds.

Le chemin de fer du Nord emploie des bois injectés de sulfate de cuivre, soit par le procédé Boucherie, soit en vase clos. Dans le premier cas, le sel doit être pur et introduit dans le bois à raison de 5 kilog.,5 par stère, la dissolution faite à raison de 1 kilogr.,5 par hectolitre. On constate la bonne préparation des traverses au moyen du réactif composé de 0, kilogr.,090 de cyano-ferrure de potassium (prussiate de potasse du commerce) dissous dans un litre d'eau. Ce réactif, étendu au pinceau sur un point quelconque de la surface du bois, doit donner une coloration rouge-brun due à la formation du cyanure de cuivre.

Le cahier des charges des chemins de fer de l'Est prescrit l'emploi du sulfate de cuivre de première qualité, sans réaction acide et ne contenant pas plus de 0,01 de sulfate de fer. La dissolution filtrée doit pénétrer dans les billes sous une pression d'au moins 8 mètres d'eau et pendant trente heures. Elle contient 1 kilogramme de sulfate de cuivre par hectolitre. L'essai se fait comme au chemin de fer du Nord et principalement sur la tranche de sortie du liquide antiseptique, après l'enlèvement, à l'herminette, d'une couche de bois de $0^{m},01$ au moins d'épaisseur.

Le chemin de fer de l'Ouest exige que le sulfate de cuivre soit dissous à raison de 2 kilogrammes par hectolitre d'eau ; on ajoute quelquefois une certaine proportion de sel marin.

En résumé, et quelque soit le titre de la dissolution, les ingénieurs français n'acceptent de bois préparé par le procédé Boucherie que lorsqu'il contient une quantité minima de 5 kilogrammes de sulfate de cuivre par mètre cube, répartie aussi uniformément que possible.

Le prix de la préparation des traverses par le procédé Boucherie, dans un chantier coûtant 4.000 francs d'installation, peut s'établir comme suit, pour 1 mètre cube de bois, y compris le bois des dosses et déchets :

Main-d'œuvre	2fr.50
Sulfate de cuivre 5k,5 à 0fr,80.	4 ,40
Frais généraux, amortissement.	1 ,10
Prix de préparation de 1 m³. . .	8fr,00

Au chemin de fer du Nord, on compte 1 franc par traverse, pour préparation par ce procédé, le mètre cube de bois donnant dix traverses, plus des dosses et déchets utilisés et comptés au prix du commerce.

Le dossage de la dissolution de sulfate de cuivre est constaté, soit par pesées distinctes de sulfate solide et de l'eau pure, soit par des pesées du mélange faites au moyen de deux aréomètres gradués.

Pour constater le système de préparation, par le procédé en vase clos par le vide et la pression dans chaque opération, on fait usage de deux traverses dites d'essai, dont l'une sera d'une longueur double des traverses ordinaires et l'autre d'une épaisseur double. Après la préparation, on scie chacune de ces deux traverses, de manière à en faire deux traverses ordinaires, et on vérifie à l'aide du ferro-cyanure de potassium si les faces sciées sont entièrement injectées.

206. — Préparation des poteaux du télégraphe électrique. — On peut les injecter, soit par la méthode Boucherie, soit en vase clos. Dans la première méthode, voici comment on procède :

On dissout, dans les cuves posées sur le sol, le sulfate de cuivre à raison de 1 kilogr.,50 par hectolitre d'eau. La liqueur clarifiée est versée dans une cuve noyée dans le sol. De cette cuve la dissolution est élevée à l'aide d'une pompe, dans un réservoir établi sur un échafaudage dont la hauteur, variant avec la longueur des poteaux et leur essence, doit être suffisante pour que la dissolution puisse pénétrer tous les canaux séveux, et cependant ne pas donner lieu à une pression susceptible de faire passer la liqueur trop rapidement dans le bois en ne lui laissant pas le temps de se combiner. Pour les poteaux de 8 mètres de longueur, on a reconnu que la hauteur d'échafaudage la plus convenable est comprise entre 8 et 10 mètres.

En sortant de ce réservoir, la dissolution est dirigée vers les pieds des poteaux couchés presque horizontalement sur des chantiers. Les tuyaux en cuivre qui amènent la dissolution, la distribuent à chaque poteau à l'aide

d'un petit tuyau en caoutchouc aboutissant au pied du poteau armé d'un plateau à corde.

Les poteaux sont injectés avec leur écorce, que l'on enlève ensuite. La durée d'injection varie d'après l'âge, la longueur des poteaux et l'époque de l'année.

En belle saison, trois jours sont nécessaires à la préparation des poteaux de 6 mètres, sept jours pour les poteaux de 8 mètres et douze jours pour ceux de 10 mètres.

Un chantier, sur lequel on tient en préparation 200 poteaux, peut fournir environ 100 poteaux de 8 mètres par semaine.

L'installation d'un chantier contenant deux rangées de 100 poteaux chacun, coûte de 3.000 à 3.500 francs.

Huit hommes suffisent à la main-d'œuvre d'un tel chantier.

On a injecté de créosote les poteaux télégraphiques de l'État Belge ; mais cette préparation a donné de mauvais résultats. Soit que la créosote qui ne se combine pas s'écoule par l'effet de son poids, soit qu'elle s'évapore sous l'action des agents atmosphériques, la préparation au sulfate de cuivre est préférable, et l'État Belge y est revenu. La manipulation des poteaux fraîchement créosotés est d'ailleurs pénible pour les ouvriers.

Voici les prix du bois préparé par le procédé Boucherie, prix variable par les quantités de sulfate de cuivre absorbées qui oscillent entre 6 kilogrammes — France, — ou 10 kilogrammes — Belgique, — et 13 kilogrammes — Prusse, — par mètre cube, et d'après le prix de main-d'œuvre :

1 mètre cube de sapin	40fr,00	à	50fr,00
6 à 13 kil. de sulfate de cuivre à 0 fr. 80	4 ,80	à	10 ,40
Main-d'œuvre.	4 ,00	à	8 ,00
Frais généraux.	2 ,50	à	0 ,75
Prix d'achat et de préparation de 1 m³.	51fr,30	à	79fr,15

Le prix de préparation varie donc entre 11 fr.,30 et 19 fr.,75, le mètre cube.

La figure 272 représente en plan et en élévation, l'installation d'un chantier de préparation par le procédé Boucherie.

La dissolution du sulfate de cuivre s'effectue dans la cuve inférieure *a*. De là, elle est montée dans les cuves supérieures *b*, *b*, à l'aide de pompes mises en mouvement par un moteur quelconque. Dans la figure, le moteur est une locomobile qui transmet son mouvement par un fil télodynamique et sert en outre à faire mouvoir les autres machines employées au débitage du bois.

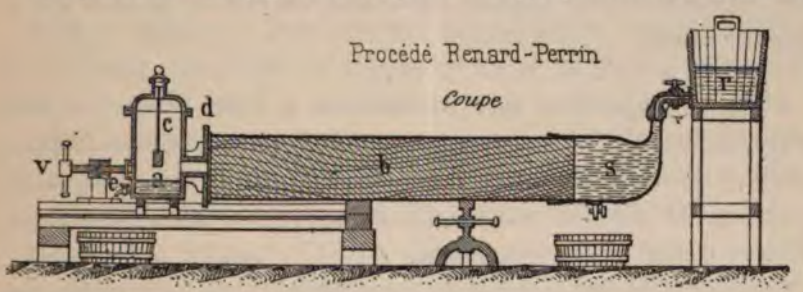
La dissolution descend des cuves *b*, situées à 10 mètres au moins au-dessus du sol, par les tuyaux *tt*, et se distribue dans les pièces à préparer à l'aide de tubulures *c*, munies de tuyaux en caoutchouc *d*, se terminant par un ajutage en bois *f* (fig. 269), qui pénètre dans un trou foré dans le bois plein ou dans le plateau (fig. 271).

Le chantier est disposé pour que le liquide sortant des pièces de bois s'écoule vers une cuve *g*, ménagée dans le sol, où on le recueille pour en tirer des produits pharmaceutiques.

On a indiqué quelquefois que ce liquide était repris pour utiliser le sulfate de cuivre mélangé de liqueur séveuse, mais c'est à tort, car on renvoit ainsi dans le bois des matières putrescibles.

Procédé Renard-Perrin. — M. Payen, rendant compte à la Société d'encouragement, dans sa séance du 28 février 1849, de ce procédé, s'exprimait ainsi (extrait) :

Une pièce de bois *b* (fig. 268) à injecter est appliquée contre l'appareil *a*,



composé d'un cylindre en fonte terminé au sommet par un ajutage rodé et fermé à l'aide d'un obturateur qui porte une tige métallique *c*, garnie à son extrémité inférieure d'un paquet d'étoupes imbibé d'alcool. Au bas du cylindre se trouve un robinet à air *e*. En avant du cylindre est un disque *d* faisant corps

avec un ajutage, et percé à son centre d'un trou qui communique avec l'intérieur du cylindre *a*. Le bois à préparer s'applique contre ce disque, une rondelle de cuir interposée servant à compléter le joint que l'on rend aussi étanche que possible à l'aide de deux chaînes et d'écrous roulants.

Le cylindre *a* peut être reculé ou avancé sous l'impulsion donnée par la vis horizontale *v*.

L'autre extrémité de l'arbre est enveloppée d'un sac de toile imperméable *s* communiquant avec un réservoir *r*, contenant le liquide à injecter.

Pour faire pénétrer le liquide dans l'arbre, on opère le vide dans le cylindre *a*, en allumant l'alcool de l'étoupe. L'air chassé par la tension de la vapeur est remplacé par cette dernière. On ferme alors le robinet à air, la condensation de la vapeur s'effectue, et la pression atmosphérique agissant sur le liquide du réservoir *r* pénètre dans l'arbre.

Des contestations de brevets ont empêché le développement de ce procédé dont le principe aurait pu trouver, moyennant quelques modifications, d'utiles applications pour préparer rapidement des poteaux et des arbres de grande longueur.

207. — Injection par imbibition à l'air libre. — Dans ce procédé primitif, on plonge les bois dans la liqueur antiseptique froide ou chaude, contenue dans de grands bacs ouverts, et on les y laisse plus ou moins longtemps. Il faut donc une installation considérable quand on doit préparer un certain nombre de traverses.

Comme nous allons le voir, la liqueur employée est, tantôt le sublimé corrosif (procédé Kyan), tantôt le sulfate de cuivre (procédé Knab), tantôt le chlorure de zinc, tantôt enfin, la créosote.

208. — Procédé par immersion à froid. — Ce procédé qui a pris le nom de M. Knab, fut appliqué vers 1850, par les chemins de fer de Paris à Strasbourg et d'Amiens à Boulogne, sur les traverses en chêne, et par les chemins de Berlin-Anhalt, de Lubeck-Buchen sur les traverses en pin. Là, il n'a donné que de mauvais résultats.

Depuis 1858, le chemin de Berlin-Postdam a repris cette méthode. En trois jours d'immersion dans une dissolution de sulfate de cuivre marquant 2 1/2 à 3° Baumé, une traverse de pin absorbe 1 kilogramme de sel.

L'immersion à froid des traverses en pin, séchées préalablement pendant six à neuf mois, est pratiquée depuis 1861 par l'Ouest-Saxon, qui emploie le chlorure de zinc au titre de 1/40.

Les bois secs restent plongés dans la liqueur pendant quatorze jours, puis exposés à l'air un mois au moins avant l'emploi. On les recouvre alors d'un enduit de couleur jaune, composé de 0,01 de chlorure de fer et de 0,99 de chlorure de zinc.

Le chemin d'Oldenbourg immerge les traverses de pin dans une dissolution de chlorure de zinc au 0,033 et les y laisse 72 à 96 heures ; mais il prend la précaution de n'employer que des traverses bien sèches.

Le procédé Kyan, appliqué en 1839 par les chemins Badois, sur les traverses en chêne, a été repris en 1858 et étendu aux traverses de toutes essences. Il est en faveur aux chemins du Main-Weser, du Main-Neckar, de la Hesse, de Rhein-Nahe, du Wurtemberg.

On y emploie le bichlorure de mercure dissous à chaud, à raison de $0^k,5$ par 3 litres d'eau. Cette première dissolution est ensuite étendue dans 150 volumes d'eau froide. Les traverses restent plongées dans ce bain pendant dix jours.

209. — Méthode par immersion à chaud. — L'imbibition de de la liqueur antiseptique est plus rapide quand on élève la température du bain.

L'action de la chaleur doit dilater les pores et chasser l'air confiné, peut-être même coaguler les matières putrescibles. En se refroidissant, la liqueur pénètre dans le bois sous l'influence de la pression atmosphérique.

Depuis 1852, le chemin d'Altona-Kiel prépare ainsi ses traverses au chlorure de zinc. La liqueur marquant 8° Baumé et placée avec les traverses dans des caisses en bois, est échauffée par la vapeur jusqu'à 60° ou 70° R. Les traverses restent dans le bain jusqu'au refroidissement, c'est-à-dire au moins 24 heures.

Pour préparer la liqueur, on commence par dissoudre dans une caisse en bois 5 kilogrammes de vieux zinc dans 21 kilogrammes d'acide chlorhydrique du commerce, puis on étend la dissolution dans 394 litres d'eau.

Le chemin de Berlin-Postdam fait aussi, par immersion, la préparation des traverses de pin au sulfate du cuivre. Un premier bain, sous 2 1/2 à 3° B, et à la température de 60° Réaumur reçoit les traverses pendant 3 heures 1/2 ; puis un second sous 4 1/2 à 5° B, à la température de 14° ou 18° Réaumur, pendant 3 heures 1/2 également.

Les traverses absorbant 1 kilog. de sulfate de cuivre au prix de 1 franc, la main-d'œuvre et les frais d'entretien étant évalués à 20 centimes ; le prix de revient du mètre cube ressort à 9 fr., 70. Ce chemin continue à préparer

ses traverses par le procédé à chaud concurremment avec le procédé à froid indiqué plus haut.

Le chemin de fer de Paris à Orléans immerge ses traverses en chêne dans un bain de sulfate de cuivre au titre de 1/50, à la température de 60°. Depuis que ce système est en pratique on n'a pas eu à regretter son application puisque l'aubier paraît avoir duré autant que le cœur.

On a préconisé pendant un certain temps, en Allemagne, le procédé Buttner et Mœhring, qui consistait à faire *cuire* les traverses placées debout dans des cuves en bois remplies d'une dissolution de chlorure de zinc. Cette méthode, appliquée sur les lignes de Bade, à des traverses de chêne et de pin; de Cologne-Minden, à des traverses en hêtre; de l'Est-Saxon, à des traverses en pin; de la Thuringe, à des traverses en hêtre, n'a donné que de mauvais résultats dus, sans doute, à un trop long séjour des bois dans un bain élevé à une température dépassant 100°.

On peut ranger dans la même classe l'un des procédés Béthel dont on rencontre de nombreuses applications en Angleterre, et qui consiste à faire sécher les traverses à l'étuve, puis, quand elles sont bien desséchées, à les plonger dans un bain d'huile de goudron de houille.

210. — Injection en vase clos sous pression. — C'est à Bréant que revient l'honneur d'avoir indiqué de 1831 à 1838 les principes et les bases de ce procédé : emploi du vase clos ; — action de la vapeur et emploi des pompes pneumatiques pour faire le vide ; — pression exercée par une pompe foulante. A Payne et à Béthel appartient le mérite d'avoir rendu industriel et pratique le procédé de Bréant ; à M. Blythe de l'avoir perfectionné par l'étuvage des bois.

Abstraction faite de la question du choix de la liqueur antiseptique, la *préparation en vase clos* appliquée en concurrence avec le système Boucherie, présente certains avantages ; le temps écoulé entre l'abatage et la mise en préparation n'a pas d'influence sensible sur la pénétration du liquide antiseptique ; les bois équarris se préparent aussi bien que les bois en grume, ce qui évite une perte de près du quart du bois préparé ; le cœur est pénétré plus profondément que par le procédé Boucherie ; de plus, on a observé que les bois en grume se fendillent beaucoup plus facilement que les bois débités et que le sciage des bois préparés est plus difficile que celui des bois non préparés.

Dans la méthode de préparation en vase clos, il ne faut employer que des bois bien sains, abattus en bonne saison, bien empilés, bien desséchés, non

échauffés, etc., etc. ; sans ces précautions essentielles, la préparation est pour le moins inutile.

La préparation des traverses en vase clos comprenait, il y a quelques années, les opérations suivantes :

— Passage dans le cylindre rempli de traverses d'un courant de vapeur pendant vingt-cinq minutes au moins pour bien échauffer le bois, ou dessiccation et échauffement des traverses à l'étuve.

— Réduction de la pression atmosphérique dans l'appareil jusqu'à $0^m,52$ et $0^m,68$ de mercure ; ce vide est maintenu tout le temps nécessaire pour enlever au bois son excès d'humidité et permettre le dégagement des gaz qu'il renferme, c'est-à-dire pendant quinze à vingt minutes au moins.

— Enfin, introduction de la dissolution sur le cylindre et refoulement progressif du liquide jusqu'à la pression de plusieurs atmosphères. On maintient cette pression à l'aide de pompes foulantes pendant le temps nécessaire pour que le bois soit pénétré à la dose que l'expérience indique comme la plus convenable ; dans tous les cas, cette opération ne dure jamais moins d'une demi-heure.

Depuis 1863, on a supprimé l'injection de la vapeur, on la remplace par la dessiccation artificielle du bois.

Voyons maintenant les diverses applications de ce procédé :

Avant 1842, les Ingénieurs Anglais préparaient leurs traverses en vase clos, à l'aide du vide et de la pression, en employant la créosote ou le chlorure de zinc.

Depuis l'année 1847, le chemin du Hanovre prépare ses traverses au chlorure de zinc, à l'aide du vide et de la pression. Voici comment il est encore appliqué à toutes les traverses sans distinction d'essences :

Les traverses placées dans un cylindre, sont d'abord soumises à un courant de vapeur ; puis, à l'aide de pompes pneumatiques, on fait le vide aussi complet que possible dans le cylindre. Le chlorure de zinc contenant 25 % de zinc métallique, étendu dans soixante fois son volume est ensuite introduit froid dans le cylindre, et refoulé par des pompes jusqu'à la pression de huit atmosphères.

Le chemin de Brunswick a suivi le même procédé depuis 1852 à 1857, en employant la solution de chlorure de zinc à 1/30 ; mais après quatre ans d'essai, on crut remarquer que la liqueur antiseptique trop concentrée, attaquait les fibres du bois de pin. A partir de 1857, on a étendu le chlorure de zinc dans cinquante fois son volume, et en l'appliquant au chêne, au pin, et auhêtre, il est encore en usage dans les mêmes conditions. Nous verrons

plus loin les observations intéressantes auxquelles ces traverses préparées ont donné lieu,

Depuis 1847, le chemin de fer du Nord, et en 1853, la Compagnie du Midi, ont fait l'application du même système en employant comme sel métallique le sulfate de cuivre.

Enfin depuis 1861, les chemins de fer du Nord de l'Espagne et de Séville à Xérès ont employé des traverses préparées en vase clos, mais préalablement desséchées à l'étuve comme le pratiquait Béthel dès avant 1852.

Depuis 1861, le chemin de l'Est Prussien, abandonnant le sulfate de cuivre, prépare ses bois à la créosote. Avant de les placer dans le cylindre à injection, les traverses sont desséchées dans un four.

Le chemin de Cologne à Minden n'emploie plus que la créosote après avoir essayé la préparation au sulfate de cuivre et au chlorure de zinc dans le vase clos. Le vide est aussi complet que possible et la pression terminale est tenue à 7 1/2 atmosphères.

Même procédé sur le chemin de la Haute-Silésie, mais les traverses sont préalablement desséchées jusqu'à évaporation complète de l'eau, puis placées dans le cylindre, où un vide de $0^m,52$ est entretenu pendant une demi-heure ; enfin injectées de créosote avec une pression de 6 atmos. 1/2 pendant 45 minutes.

211. — Installation d'un chantier d'injection des bois. — Un chantier complet pour la préparation des bois en vase-clos se compose (fig. 273 et 274) :

1° D'un espace suffisamment étendu et convenablement desservi par des voies pour recevoir les traverses, les empiler et en effectuer économiquement le transport ;

2° D'une étuve A disposée pour faire sécher les bois par une marche méthodique, comprenant un four à deux ouvertures opposées, l'une servant à l'introduction de vagonnets chargés des traverses à dessécher, l'autre à la sortie des mêmes vagonnets chargés des traverses desséchées ;

3° D'un grand cylindre en tôle B pouvant recevoir au moins cent traverses à la fois, ce qui suppose un diamètre de $1^m,75$ et une longueur de $5^m,75$ comme dimensions minima ;

4° D'une machine à vapeur destinée à fournir la vapeur pour échauffer la créosote et le mouvement aux pompes pneumatiques ainsi qu'aux pompes foulantes ;

5° De récipients C pour emmagasiner la liqueur en quantité suffisante à la préparation d'au moins une cylindrée ;

6° D'un développement de voies en rapport avec toutes les manœuvres à effectuer dans le chantier.

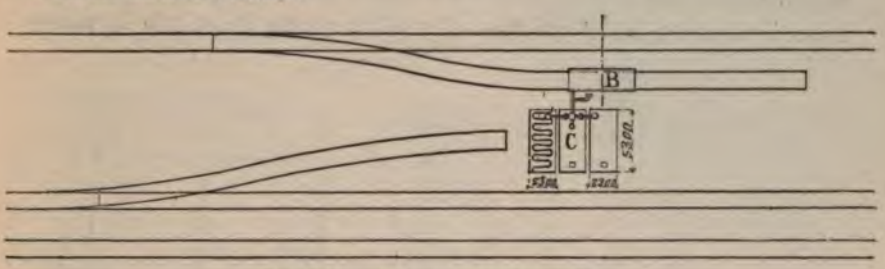


Fig. 273. — Atelier d'injection (Est).

Nous avons indiqué, dans la figure 275, le cylindre à injection employé par le chemin de fer du Nord ; il se compose de deux moitiés qui peuvent se détacher l'une de l'autre, glisser sur des rails de manière à dégager leur ouverture et permettre le chargement des traverses, imitation du cylindre que M. Fragneau a fait breveter en 1861, pour le transport en forêt des appareils d'injection en vase clos.

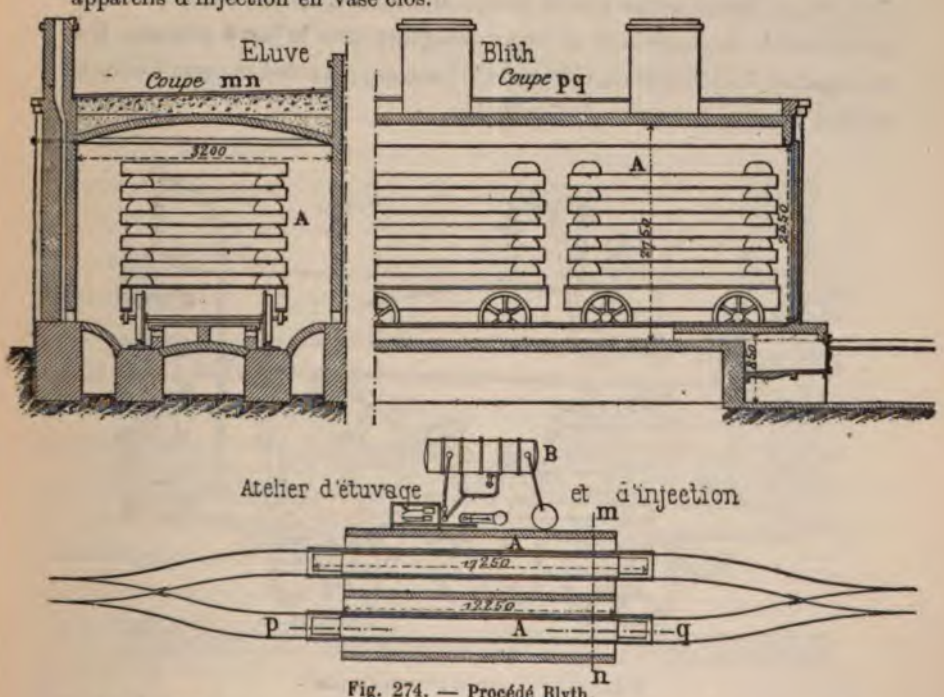


Fig. 274. — Procédé Blyth.

La fig. 276 représente l'appareil à injection complet que la Compagnie de l'Est a établi sur chariot pour être transporté aux points d'approvisionnement des traverses.

La chaudière à vapeur est suspendue sous le châssis entre les roues du vagon. Le cylindre moteur, placé sur l'un des brancards, donne le mouvement à un essieu coudé qui fait agir, soit la pompe à eau, soit la pompe

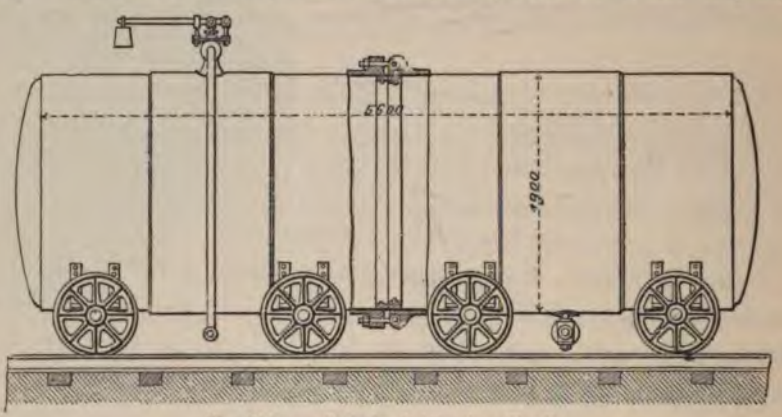


Fig. 275. — Cylindre à injection (Nord).

foulante, en même temps que la pompe alimentaire. Le robinet *a* se réunit par un coude en caoutchouc au tuyau plongeant dans le bac à créosote. Des manomètres indicateurs du vide et de la pression, des tubes en verre à niveau, servent à suivre la marche de l'opération.

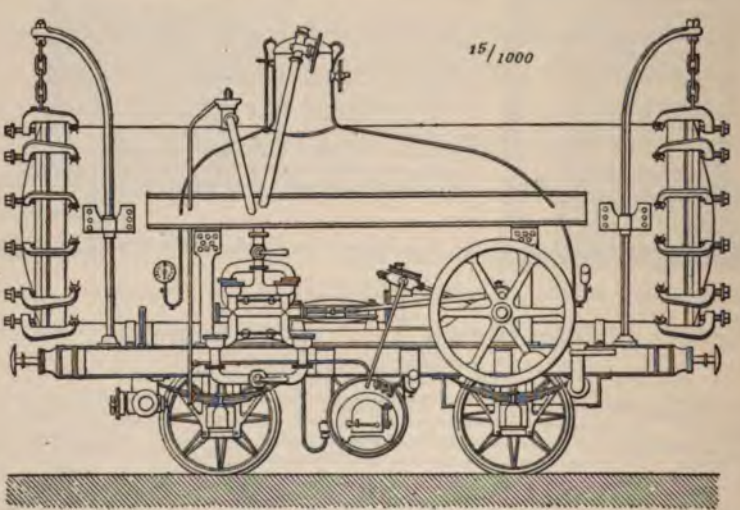


Fig. 276. — Appareil locomobile (Est).

L'obturation des deux ouvertures est assez difficile à obtenir; le but que l'expérience a indiqué comme le meilleur est le crotin de cheval, qui forme un feutre imperméable.

Avec cet appareil ainsi monté, la Compagnie de l'Est peut préparer six cents traverses par jour.

Voici les poids des différentes parties de l'appareil locomobile de l'Est :

Cylindre d'injection :			
Tôle d'acier et rivure		3.000 kil.	5.020 kil.
2 fonds et couronne (fonte)		1.400 —	
24 charnières		240 —	
Remplissage		180 —	
2 frettes		200 —	
24 verrins			700 —
Chaudière à vapeur avec tous ses appareils			1.300 —
Mécanisme : cylindre, organes, pompes			2.000 —
Accessoires :			
Tuyauterie	100 kil.	330 kil.	1.035 —
Robinetterie	230 —		
Supports du cylindre	235 —	505 —	
2 potences et supports	270 —		
Bâche alimentaire		200 —	
Poids total			10.055 kil.
Poids supplémentaire à ajouter si l'on construit la chaudière en cuivre au lieu d'acier, en cas de préparation au sulfate de cuivre.			700 —

On peut remplacer la chaudière en cuivre par un doublage de plomb, ou un enduit de goudron protégé par un cuvelage en bois.

L'appareil locomobile de l'Est avec sa chaudière en acier, coûte 20.000 fr., non compris le train qui peut être employé de nouveau à porter une voiture à voyageurs quand l'appareil est enlevé.

La Compagnie du Midi satisfaite des résultats de l'injection au sulfate de cuivre, a construit son cylindre en cuivre rouge. Ce récipient, formé de deux parties de longueur égale assemblées par des boulons, a 17 mètres de long, non compris les calottes sphériques, et $1^{m},250$ de diamètre intérieur.

Il est composé de deux récipients fonctionnant alternativement de part et d'autre du moteur et des pompes. Les boulons de jonction des fonds mobiles sont articulés sur la collerette fixée à l'appareil. Le fond mobile à charnière horizontale supérieure est équilibré par des contrepoids qu'on fait glisser sur les leviers

Pour bien assurer la fermeture, l'axe de rotation porte sur des coussinets dont on peut régler la position.

La pompe à air et la pompe d'injection, toutes deux horizontales à double effet, ont la même course : $0^{m},300$; diamètre de la pompe à air, $0^{m},300$; diamètre de la pompe d'injection, $0^{m},105$; nombre de coups doubles de

chaque pompe par minute, 50. Chaque pompe a son mouvement indépendant formé d'une poulie, d'un engrenage droit (fonte et bois), divisé dans le rapport 1/3.

La courroie mue par le tambour menant de la locomobile se place alternativement sur une poulie centrale fixée à un arbre spécial, ou sur l'une ou l'autre des poulies adjacentes calées sur un arbre creux en fonte indépendant, dans lequel tourne l'arbre de la poulie centrale.

Ces trois poulies ont 1 mètre de diamètre, $0^m,100$ de jante, et font 150 tours ; le mouvement des pompes est régularisé par deux volants de $1^m,50$ de diamètre.

Les tuyaux pour la vapeur, le vide et l'injection sont bifurqués à leur origine sur la chaudière et sur les pompes, de manière à desservir alternativement chaque récipient.

Tous les robinets sont en bronze, du système dit Américain, à soupape et à boule. Pour la pompe pneumatique, quelques constructeurs préfèrent aux clapets les tiroirs qui font perdre moins de temps pour obtenir le vide.

212. — Conditions de fabrication et de réception des traverses préparées en vase clos. — *Injection au sulfate de cuivre.* — Quelle que soit la quantité de sulfate de cuivre à introduire au mètre cube de bois, on doit faire varier la quantité de liqueur à injecter selon l'état des bois.

Pour les bois verts dans lesquels la pénétration est plus difficile que pour les bois secs, quand on veut obtenir un minimum de 5 à 6 kilogrammes de sulfate de cuivre, on se sert d'une dissolution au taux de 2 à 2 k, 30 de sulfate par 100 kilogrammes refoulée à une pression de 8 à 10 atmosphères.

Pour les bois secs, on peut employer la liqueur au titre de $1^k,50$ à 2 kil. de sulfate par 100 kilogrammes, sous la pression de 5 à 10 atmosphères. Cette dernière combinaison est adoptée quand on étuve préalablement les bois.

Quand ces différents points sont arrêtés, on charge le cylindre de traverses et on note la quantité de bois introduite. Le cylindre fermé, on fait marcher les pompes pneumatiques ; le vide marqué par le tube barométrique ne doit pas être inférieur à 65 centimètres de mercure. La communication s'établit alors entre le cylindre et le réservoir à liqueur, les pompes à air fonctionnant toujours. Le cylindre étant à peu près rempli, on ferme le robinet du tuyau plongeant dans le réservoir, on arrête les pompes à air et on met en mouvement la pompe foulante qui puise la liqueur dans le réservoir, et

achève le remplissage du cylindre. On constate le titre de la liqueur, ce qui permet de fixer la quantité réelle de dissolution à injecter.

Pour déterminer cette quantité, on fait une marque à la place occupée par l'indicateur du flotteur quand commence le refoulement du liquide, et on constate la quantité absorbée à l'aide de l'échelle qui suit l'abaissement du flotteur. Le volume requis par le calcul étant absorbé, on arrête les pompes foulantes et on laisse écouler du cylindre le liquide non absorbé. Le flotteur indique encore la quantité de liqueur non absorbée. Le cylindre est alors débarrassé des traverses injectées et rempli de traverses à injecter.

Dans les chantiers de MM. Dorsett et Blyth, les cylindres en tôle de fer sont recouverts à l'intérieur d'une couche de 1 millimètre d'épaisseur d'un mélange de bitume raffiné et de gutta-percha, puis d'une lame de plomb de 2 millimètres, et enfin d'un doublage de bois de 4 centimètres.

Les dimensions du cylindre les plus convenables sont les suivantes : longueur 15 mètres, diamètre $1_{m},80$. La locomobile a une force de huit chevaux, alimentée par les débris de bois du chantier. Le chargement et le déchargement durent une heure ; le vide, le remplissage et le refoulement une heure. On fait donc, en douze heures, six opérations qui fournissent 1.400 traverses. Deux brigades de six hommes à chaque bout du cylindre suffisent à toutes les manipulations.

L'installation d'un chantier de ce genre revient à 30.000 francs environ.

On se sert quelquefois d'un cylindre en fonte de $5_{m},80$ de long sur $1^{m},50$ de diamètre, en deux parties réunies par des boulons agrafés ; l'intérieur est recouvert d'une couche de minium pour préserver le fer de l'attaque du liquide.

Cette disposition n'est peut-être pas très efficace. Pour s'assurer que la liqueur n'a pas entraîné de sulfate de fer en corrodant le cylindre, on enlève dans les bois préparés de la sciure que l'on dessèche, incinère et traite par l'acide azotique.

En versant dans la solution un excès d'ammoniaque, on redissout le cuivre, et l'on peut alors voir l'oxyde de fer se précipiter, s'il y a eu corrosion du cylindre.

Injection à la créosote. — Les bois étuvés ou non sont enfermés dans un cylindre qui n'a plus besoin de garniture protectrice comme dans la préparation au sulfate de cuivre. Voici les prescriptions de la Compagnie de l'Est pour l'injection de traverses de hêtre.

Les traverses seront séchées dans une étuve à air chaud à 60 ou 80° centigrades, pendant vingt-quatre heu res au moins, et dans tous les cas, suivan

leur état de siccité, pendant un temps suffisant pour assurer une pénétration bien complète et bien régulière de la créosote. L'étuvage sera conduit avec précaution de manière à éviter autant que possible la fente des bois. On rebutera les traverses fendues lorsqu'elles ne pourront être convenablement consolidées.

En sortant de l'étuve, les traverses seront placées dans un cylindre pouvant être fermé hermétiquement. A l'aide d'une pompe pneumatique, on fera le vide dans le cylindre, de manière que la différence entre la pression intérieure et la pression atmosphérique soit représentée par une colonne de mercure d'au moins $0^m,65$.

On mettra le cylindre en communication avec un réservoir contenant la créosote préalablement chauffée à 65° centigrades au moins, à l'aide d'un serpentin à vapeur, sans mélange d'eau de condensation.

Jusqu'au complet remplissage du cylindre, le vide sera maintenu par la pompe pneumatique, de manière que les traverses placées à la partie supérieure du cylindre restent soumises à l'action du vide jusqu'à ce qu'elles soient complètement immergées. A cet effet, on constate le remplissage du cylindre à l'aide d'un dôme muni d'un tube de niveau.

On refoulera la créosote dans le cylindre avec des pompes, à une pression effective d'au moins 10 kilogrammes par centimètre carré, constatée par un manomètre.

L'action des pompes sera continuée pendant un temps suffisant pour assurer l'absorption complète et régulière de la créosote.

La créosote devra être liquide à la température de 35° centigrades ; à cette température, sa densité ne sera pas inférieure à 1.030 ; elle devra contenir au moins 8 % d'acide phénique.

La quantité de créosote à faire absorber par les bois ne devra pas être inférieure à 220 litres par mètre cube ; pour la constater, un flotteur à tige indiquera les quantités absorbées, et les dimensions du réservoir seront telles que chaque hectolitre de créosote absorbé corresponde à une division d'un centimètre au moins sur la tige du flotteur.

On aura soin de ne mettre dans le cylindre que du bois présentant les mêmes conditions de dimensions, de nature et de degré de siccité, afin de rendre la préparation uniforme.

Pour s'assurer de l'opération, on choisit à raison de 5 % des traverses à préparer, les traverses les moins propres en apparence à une bonne injection, et on les place à la partie supérieure du cylindre. Pesées avant et après l'opé-

ration, l'augmentation du poids de chacune d'elles ne doit pas être inférieur à 20 % du poids primitif.

Dans les ateliers de la Compagnie de l'Est, le créosotage des traverses s'opère de la façon suivante :

On commence par empiler les traverses dans une étuve où la température de l'air chaud peut atteindre 80°, et on les y laisse vingt-quatre heures environ. On emploie avantageusement des chariots qui restent dans l'étuve pendant l'opération, ce qui permet de conduire rapidement les traverses ainsi séchées dans un grand cylindre en tôle de 10 à 12 mètres de longueur et de $1^m,80$ à 2 mètres de diamètre. Les portes de ce cylindre étant hermétiquement fermées, on fait le vide dans le cylindre jusqu'à ce que la pression s'abaisse à $0,^m11$ de mercure. On emploie dans ce but une pompe à air à double effet, qui permet d'obtenir rapidement ce vide et de le maintenir pendant au moins une demi-heure. On introduit alors de l'huile lourde de goudron chauffée à 80° centigrades, et on porte la pression à 6 kilogrammes par centimètre carré. On maintient cette pression pendant 1 heure 15 à 1 heure 30 minutes.

Par ce procédé, les traverses en chêne absorbent 80 à 90 litres d'huile par mètre cube et les traverses en hêtre 290 à 330 litres par mètre cube.

La Compagnie de l'Est Français est très satisfaite de ce mode de préparation qu'elle pratique depuis 1865.

Après quinze années d'emploi, la Compagnie a mis hors de service 1,5 % de traverses en chêne créosoté et 5 % de traverses en hêtre créosoté.

En Angleterre, où la créosote ne coûte que 4 francs les 100 kilogrammes, on injecte 10 kilogrammes par traverse et le prix de l'injection payé à l'entrepreneur varie de 0 fr. 80 à 1 franc.

En Belgique, quand la créosote valait 6 francs, le prix de la préparation était d'environ 1 franc par traverse.

Ce prix a été sensiblement réduit.

Vérifications. — Pour constater les résultats du système de préparation en vase clos, on dispose dans chaque opération deux pièces d'essai, l'une d'une longueur double de celle des traverses, plus $0^m,10$; l'autre d'une épaisseur double de celle des traverses. Après l'opération, la première pièce est coupée en trois morceaux, celui du milieu ayant $3^m,10$ de longueur, et les deux autres la dimension ordinaire des traverses ; le morceau de $0^m,10$ est gardé par l'agent réceptionnaire pour servir de contrôle. La seconde pièce est sciée par le milieu de son épaisseur. On vérifie si ces pièces sont entièrement pénétrées, et, dans le cas affirmatif, on procède à la réception ; si, au contraire, elle présente des parties ne contenant que peu ou point de matière antisep-

tique, toutes les traverses sont refusées comme incomplètement préparées, ces traverses peuvent être soumises à une nouvelle opération avec d'autres doubles pièces d'essai.

Cette vérification ne laisse pas d'offrir assez peu de garantie, l'analyse chimique nous paraîtrait beaucoup plus sûre et plus équitable pour toutes les parties.

L'agent chargé de surveiller la préparation tient un carnet d'attachement où il indique :

— La durée du passage de la vapeur dans le cylindre quand on conserve cette opération préliminaire ;

— La durée et le degré du vide obtenu ;

— La durée de l'introduction du liquide et sa température ;

— La durée de la pression, son intensité et ses fluctuations pendant l'opération ;

— Les poids des traverses d'essai avant et après l'opération.

Malgré toutes ces précautions, l'administration qui reçoit ses traverses d'entrepreneurs, intéressés avant tout à faire des économies, s'expose à trouver des mécomptes. Quant aux garanties de durée que ces marchés peuvent spécifier, elles n'ont pas encore été mises à exécution sur une large échelle, lorsqu'elles viendront à effet, il se soulèvera probablement de grandes contestations, et sur le mode d'emploi, et sur le système de construction de la voie, etc., etc.

Il a paru tout d'abord préférable de prendre à la charge des chemins de fer la préparation des bois et de lui donner tout le soin que comporte cette grave question.

213. — Carbonisation superficielle. — M. de Lapparent, directeur des constructions navales et du service des bois de la marine française, a décrit un procédé de conservation des bois, consistant en une carbonisation des surfaces sous l'action d'un jet de gaz enflammé. Une soufflerie permet de mêler au gaz, à sa sortie, l'air nécessaire pour obtenir une combustion complète, et d'imprimer au jet une force telle, qu'on puisse le diriger dans tous les sens et le faire agir, non seulement sur les faces du bois, mais dans les trous, fentes, joints, tenons, mortaises, etc., et en général sur toutes les parties de la construction. On peut employer une seule soufflerie à pédale pour deux ou plusieurs jets de gaz.

Ce procédé très simple a été appliqué surtout à la carbonisation superficielle des coques de navire.

On peut faire ainsi, à l'aide du jet de gaz, une couche noire qui s'oppose à la fermentation des principes azotés contenus dans le bois, à la végétation cryptogamique et aux attaques des insectes xylophages.

Il se produit en effet, sous cette couche carbonisée, une seconde couche brunâtre, torréfiée, dans laquelle se trouvent des produits empyreumatiques, et créosotés, qui sont d'excellents agents antiseptiques.

Ce mode de conservation, dont l'efficacité a été reconnue depuis longtemps, est applicable aux bois difficilement pénétrables comme le chêne, et peut être employé seul ou concurremment avec les substances antiseptiques injectées dans les autres bois. Le sulfate de cuivre ne pénètre en effet jamais complètement, et, dans tous les cas, les eaux pluviales l'entraîne partiellement par un phénomène semblable à celui de l'endosmose.

Mais la carbonisation, qui empêche le développement des végétaux cyptogamiques produisant la pourriture des bois, ne paraît pas devoir s'opposer à la décomposition du cœur dans les vieux arbres.

M. de Lapparent conseille de n'appliquer son procédé qu'au bois de chêne, abattu en saison convenable, purgé d'aubier et de sève, c'est-à-dire à une essence à peu près réfractaire aux procédés de conservation. Mais il pense qu'en appliquant la carbonisation aux traverses injectées de sulfate de cuivre, dont la préparation est souvent incomplète, on en augmenterait encore la durée.

Chaque mode de conservation a ses avantages spéciaux, suivant l'emploi qu'on doit faire du bois préparé. C'est ainsi que les enduits à base très inflammable doivent être éloignés des constructions et que la carbonisation peut-être réservée pour les bois difficilement imprégnables, tels que le cœur de chêne, l'acacia, etc., etc., qui ont la plus grande durée naturelle.

Quand on ne peut être déterminé par aucun de ces motifs, il faut faire intervenir le prix de revient.

Appareil Hugon. — Cet appareil consiste en un fourneau A contenant le combustible, porté par une colonne B servant à le faire mouvoir verticalement ou horizontalement, selon les besoins, au moyen d'un chariot glissant sur une table. Un soufflet à double vent D (fig. 277) est relié au fourneau par un tuyau un caoutchouc. En arrière, et à un niveau supérieur se trouve un réservoir E contenant de l'eau ou un autre liquide propre à activer la combustion ; la quantité de liquide à injecter dans le fourneau à chaque coup de soufflet est réglée au moyen d'un robinet. La pièce de bois à carboniser H, repose, par l'intermédiaire des rouleaux qui permettent de la déplacer facilement, sur un banc en bois G.

Pour mettre l'appareil en marche, on commence par remplir d'eau la cavité près de laquelle vient se monter le tube de caoutchouc amenant l'air des soufflets. Cette eau, destinée à protéger le tuyau contre la haute température du fourneau, doit être renouvelée suivant les besoins. On allume d'abord dans le fourneau du menu bois en laissant ouverts la porte inférieure placée sur le devant et l'orifice supérieur servant au chargement du combustible. Lorsque le bois est enflammé, on ferme la porte du devant en lutant avec de la glaise, et on fait fonctionner la soufflerie ; on charge alors par l'orifice supérieur et par petites quantités le combustible, jusqu'à ce que fourneau soit plein.

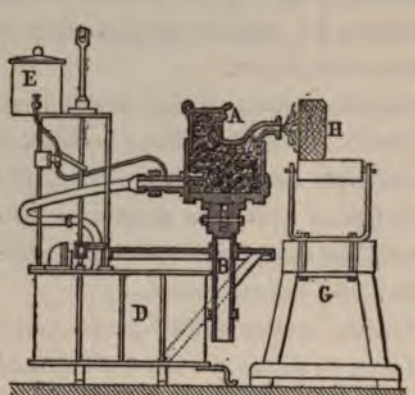


Fig. 277. — Carbonisation. — Appareil Hugon.

Le combustible étant bien allumé, on ferme la porte de l'orifice supérieur, et la flamme sort par la tubulure recourbée placée sur le devant du fourneau. C'est cette flamme activée constamment et régulièrement par la soufflerie, qu'on projette sur le bois et qui en opère rapidement la carbonisation.

Lorsque le fourneau est en bonne marche, ce qui a lieu ordinairement après dix minutes ou un quart d'heure environ, on règle l'injection de l'eau au moyen de robinets. Cette eau est entraînée par l'air provenant des soufflets et se décompose, au contact du combustible incandescent, en gaz hydrogène, oxyde de carbone et acide carbonique. Les gaz combustibles provenant de cette décomposition viennent, en se combinant avec l'oxygène de l'air au sortir du fourneau, s'ajouter à la flamme provenant du combustible employé et augmente d'une manière notable sa force de carbonisation.

Quand la flamme faiblit, on donne un ou deux coups de ringard par l'orifice supérieur, et on remplace par petites quantités le combustible brûlé. Cette opération doit être faite plus ou moins souvent, selon la nature du combustible employé.

On peut se servir, pour la carbonisation, de coke mélangé au charbon, de houille, de bois, de charbon de bois, enfin de tout combustible solide ou liquide (en injectant ce dernier) pouvant produire une flamme.

On doit, autant que possible, protéger les bois à carboniser contre la pluie et le brouillard, car il faut évidemment vaporiser l'eau dont le bois est

imbibé, avant que la carbonisation puisse s'opérer ; de là, une perte de combustible et surtout de temps, qui peut varier du simple au double pour le même travail à faire, si on opère sur du bois abrité, ou sur du bois mouillé.

Lorsqu'on se trouve sur un chantier de chemin de fer, il est facile de protéger une portion des traverses au moyen d'une bâche qui en couvre une quantité équivalente à trois ou quatre jours de travail et qu'on fait glisser successivement au fur et à mesure que la carbonisation s'opère.

Appareil Ravazé (fig. 278). La carbonisation, à l'aide de l'appareil Hugon marche lentement : deux cents traverses par jour au plus. Pour accélérer l'opération, MM. Ravazé, de Nantes, emploient un cylindre de 10 mètres de longueur, ouvert aux deux bouts, dans lequel une chaîne sans fin fait cheminer les traverses sur toute la longueur du cylindre en sens inverse d'un courant de flamme lancé dans le cylindre par un foyer ménagé à l'une des extrémités.

Un appareil de 10 mètres de longueur alimenté par un foyer consommant 3 à 4 mètres cubes de bois en dix heures de travail, et desservi par un moteur de la force de un cheval-vapeur peut carboniser de 800 à 1.000 traverses par jour.

Le cylindre avec sa chaîne et ses accessoires pèse 5.000 à 6.000 kilogrammes et coûte . . . 4.500 fr

Le moteur. . . . . 1.500 »

Total . . . . 6.000 fr.

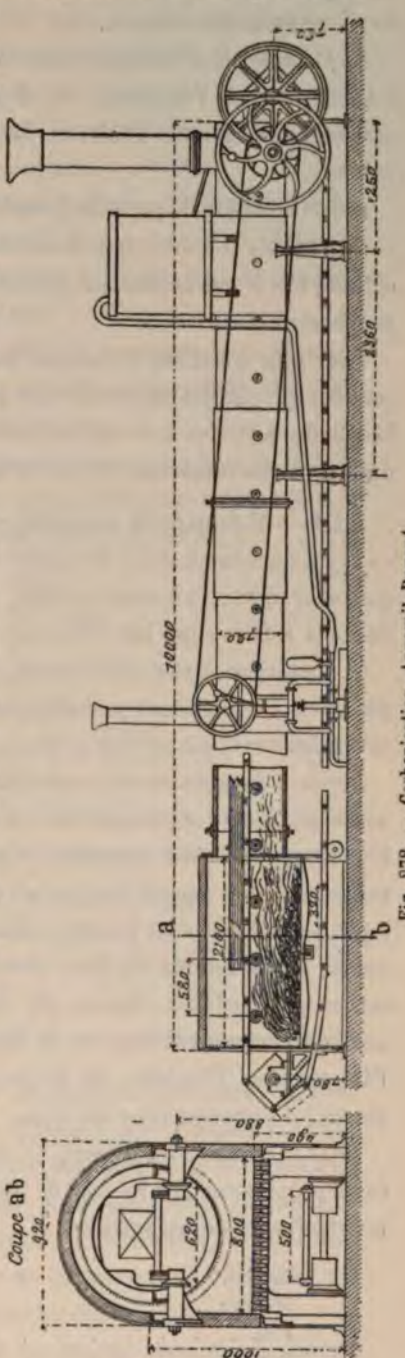


Fig. 278. — Carbonisation. Appareil Ravazé.

Le prix de revient de la carbonisation, y compris le droit de brevet, est de 30 centimes par traverse.

La Compagnie d'Orléans a installé trois appareils de ce genre à Capdenac, à Libourne et à Périgueux, où plus d'un million de traverses ont subi la carbonisation. Depuis l'idée de M. Lapparant a reçu une large application.

Quant au choix du procédé, l'expérience, seule, peut guider.

Cependant, il semble que la carbonisation au vent forcé doive être plus efficace, car le gaz comburant pénètre plus avant que les flammes léchant simplement la surface.

Pour tout concilier, il faudrait combiner un foyer à flamme forcée, lançant ses gaz par des tuyaux sur les quatre faces de la traverse à la fois, avec le cylindre à chaîne sans fin qui permet d'utiliser méthodiquement la chaleur développée en desséchant le bois avant de le carboniser.

214.— Résultats statistiques de l'emploi des traverses. — Il y a dans la question de conservation des traverses tant d'éléments exerçant chacun une influence spéciale, qu'il est impossible de décider *à priori* du choix à faire entre les différents modes de conservation des bois.

Si toutes les lignes de chemins de fer publiaient le résultat de leurs expériences, on en tirerait probablement quelques données générales qui pourraient limiter le champ des nouveaux essais à tenter.

Pendant longtemps on a considéré comme inutile l'application aux traverses de chêne des procédés de conservation, le cœur ou bois parfait, étant imperméable ; il faut cependant distinguer si les traverses étaient complètement débitées dans le bois parfait ; si, comme au chemin de fer du Nord, on rejetait absolument les traverses demi-rondes ; si enfin le prix du bois était réduit, la préparation du chêne n'aurait qu'un faible intérêt ; c'est pour cette raison que quelques chemins de fer, comme la Grande-Société en Russie, ceux de Berlin à Stettin, de la Galicie, de K. Ferdinand-Nord-Bahn, de l'Impératrice Élisabeth de Neisse-Brieg, d'Oppeln-Tarnowitz, etc... ont renoncé à l'imprégnation des bois.

Dans le même ordre d'idées, le chemin de l'État Bavarois s'abstient de toute préparation sur les bois de toute essence, et il évalue comme suit le temps d'usage de ses traverses ;

Chêne.	15 à 18 ans.
Mélèze	10 à 12 ans.
Pin.	8 à 10 ans.
Sapin.	6 à 8 ans.

Ce sont les moyennes de durée des traverses non-imprégnées, employées sur les chemins allemands. Cependant les traverses en chêne du chemin de Saarbruck, posées de 1852 à 1858, ont exigé un remplacement annuel de 10 % ce qui porte la durée totale à douze années.

A côté de ces résultats, il faut reproduire l'opinion de la conférence des ingénieurs allemands, énoncée à Munich en septembre 1868 :

1° En appliquant convenablement un bon procédé, l'imprégnation des bois en augmente la durée ;

2° Les substances qui ont donné les meilleurs résultats sont la créosote, le chlorure de zinc et le bichlorure de mercure ;

3° La constitution saine et un état sec des bois à imprégner, sont les principales conditions de réussite de l'opération ; en outre, la perméabilité du ballast a une très grande influence sur la durée des bois ;

4° Des indications fournies par les diverses lignes consultées, il résulte d'après le tableau suivant, qu'après treize années d'emploi sur la ligne, le rapport des traverses remplacées, pour les bois imprégnés, est de :

1 : 3 pour le chêne
et de 2 : 5 pour le pin.

Proportion des traverses remplacées pour 100 traverses posées.

NOMBRE D'ANNÉES après lequel le remplacement a été nécessaire	CHÊNE		PIN Sylvestre		SAPIN Épicéa		HÊTRE	
	naturel	imprégné	naturel	imprégné	naturel	imprégné	naturel	imprégné
5 ans. . . .	4,5	0,2	13,6	1,6	48,8	28,3	100	4,3
7 ans. . . .	10,6	0,8	37,3	3,2	93,4	48,7	»	10,83
10 ans . . .	31,1	3,5	67,7	11,6	»	»	»	11,5
13 ans. . . .	34,9	12,1	100	41,8	»	»	»	25

215. — Essais comparatifs sur la durée des traverses. — Pour que certains résultats prennent un caractère d'application générale, il faut qu'ils soient relevés en tenant compte des différentes circonstances qui se présentent dans la pratique. Comme ensemble d'observations bien conçues, nous citerons celles que les Directions des chemins de fer de Brunswick et du Hanovre ont organisées en vue de faire ressortir l'influence des actions extérieures sur la durée des traverses des diverses essences.

La première a, dès l'année 1857, disposé ses expériences pour constater :

1° l'influence du fer sur les traverses, 2° l'influence de la couverture des traverses par le ballast; et 3° l'influence du délai compris entre l'injection et la mise en place, c'est-à-dire immédiatement, six semaines et douze semaines après l'injection. Chaque série d'expérimentation a été appliquée sur des traverses de chêne, de pin et de hêtre, soit en bois naturel, soit en bois injecté au chlorure de zinc (206).

Il est résulté de ces dispositions quarante-huit essais comprenant chacun trois traverses. Depuis 1857, soixante-douze traverses en bois naturel reposèrent dans la voie et soixante-douze traverses en bois injectées furent couchées simplement dans le ballast de l'une des stations de la ligne sans contact avec le fer.

Sur chaque lot, moitié fut recouverte de ballast, l'autre moitié ayant sa face supérieure découverte.

A la fin de chaque année toutes les traverses ont été examinées, une à une, et leur état consigné dans un rapport dont celui de 1868 constate que parmi les traverses en bois naturel :

A. — Le chêne reste deux ans sans s'altérer, puis la pourriture de la terre attaque en premier le chêne recouvert, sans contact avec le fer, de telle sorte que le bois finit par être complètement pourri au bout de neuf ans, tandis que les autres traverses en chêne couvertes ou découvertes, mais en contact avec le fer, ont un noyau encore sain après dix ans ;

B. — Le hêtre reste un an sans altération, puis il pourrit avec une vitesse sensiblement égale, de manière que toutes les traverses sont détruites au bout de quatre ans ;

C. Le pin reste sans altération pendant un an; les traverses recouvertes et en contact avec le fer sont pourries en cinq ans, celles couvertes ou découvertes sans contact avec le fer en six ans. Enfin, celles découvertes en contact avec le fer, en huit ans.

Comme les traverses en bois injecté ne sont pas encore toutes hors de service, on ne peut pas juger définitivement de l'effet des influences extérieures; mais il est permis déjà de tirer les conclusions suivantes :

1° Les traverses en contact du fer résistent moins bien à la pourriture que les autres, à l'exception du hêtre ;

2° Les traverses découvertes se montrent moins durables que les autres, le pin excepté;

3° Le chêne et le hêtre injectés de la liqueur au trentième résistent mieux que ces essences injectées à la liqueur au cinquantième (212). C'est tout le contraire avec le pin :

4° Toutes les essences dénotent une tendance à la pourriture plus prononcée, quand elles sont posées immédiatement après l'injection que lorsque l'on attend quelques semaines.

La direction du Hanovre a observé l'influence exercée par la nature du ballast. Elle a reconnu que les traverses en hêtre injectées de chlorure de zinc se comportent beaucoup mieux quand elles sont posées sur la pierre cassée et enveloppée de gravier perméable que lorsqu'elles reposent dans le ballast imperméable. Ce mauvais résultat devient pire encore dans les tranchées où se présente ce ballast défectueux.

D'après une réunion détaillée faite en 1868, sur 73.675 traverses posées en 1854 et 1855, 36,6 % peuvent encore durer de quatre à sept ans; 35 % feront encore un à huit ans de service, enfin 11,55 % seront bientôt hors d'usage.

Ainsi 74,55 après une durée de treize à quatorze ans sont encore en service.

Ces recherches ont également démontré que les traverses intermédiaires placées dans un bon ballast peuvent faire un très bon service de dix-huit années. Dans un mauvais ballast, après treize ans de service, 25 % des traverses sont à remplacer, tandis que dans un ballast perméable on a retrouvé après cette même période 95,5 % des traverses en excellent état.

Le rapport fait remarquer que les traverses de joint sont en chêne et que les traverses de hêtre forment les intermédiaires.

Il ajoute qu'en ce qui concerne la destruction par effets mécaniques, elle est plus rapide sur les traverses en hêtre que sur celles en chêne, et qu'il convient dès lors de donner aux pièces en hêtre une section plus étendue, 1 à 2 centimètres dans les deux sens. La pourriture commence à partir des crampons et marche en s'éloignant du rail, dans le sens longitudinal des fibres, sous le rail lui-même, le bois reste sain.

La quantité de chlorure de zinc injectée dans chaque traverse, en moyenne, est de 0 kil. 404 pour le chêne, 0 kil. 92 pour le pin, 1 kil 90 pour le hêtre.

Depuis 1846, le chemin de Berlin-Hambourg injecte les traverses en chêne et en pin avec du sulfate de cuivre en vase clos. Après avoir employé des dissolutions au quarantième, puis au soixantième, on est venu au centième; chaque mètre cube de pin absorbe environ 3 kilogrammes de sulfate de cuivre et exige une dépense de 4 fr.,50 de préparation. On voit que la quantité de substance antiseptique est moins élevée que celle admise par les cahiers des charges français, et fixée d'après les expériences de M. Boucherie, à 5 kil.,50 par mètre cube.

Depuis 1858, l'État belge a renoncé à l'imprégnation des traverses au sulfate de cuivre, en raison de la destruction qui se manifeste dans les points de contact avec le fer, et il a placé dans ses voies, en une période de dix ans, plus de 1.800.000 traverses en sapin imprégnées de créosote. Pour que cette injection soit efficace, la quantité de créosote doit être d'au moins 150 litres par mètre cube de sapin et 100 litres pour le chêne, d'après l'opinion de certains ingénieurs belges. Sans fixer la quantité à injecter, l'État belge prescrit dans ses cahiers des charges de maintenir le vide pendant une heure et la pression à 8 atmosphères pendant deux heures.

On injecte en moyenne aux chemins de l'Est prussien 20 litres de créosote dans une traverse de pin, et 6 litres dans une traverse en chêne ; sur le chemin de la Haute-Silésie, dans une traverse de joint en chêne, 10 kilogrammes de créosote et dans une traverse intermédiaire en pin 20 kilogrammes, ce qui approcherait des quantités de 250 à 300 litres par mètre cube de bois, indiquées par M. Forestier dans le mémoire cité plus haut.

En France, le remplacement des traverses de la voie correspond à une moyenne de 11 à 13 ans et demi sur les grands réseaux, et il convient de remarquer que le hêtre créosoté entre pour à peu près la moitié des traverses remplacées. On constate une augmentation dans la durée des traverses depuis l'établissement des rails longs en acier à joint en porte-à-faux, le créosotage paraît offrir aussi une conservation plus grande que le sulfatage.

On peut admettre, en France, que la durée des traverses créosotées sera, suivant les essences, de

25 à 30 ans pour le chêne,
10 à 11 ans pour le hêtre et le pin.

216. — Etude économique de l'application des procédés de conservation. — Cette question si obscure de la conservation artificielle des traverses se complique de plusieurs conditions particulières, telles que le climat, la nature et la qualité du ballast, la nature du bois et le prix de l'injection. Tout en appliquant avec succès une matière propre à empêcher la pourriture, il ne faut cependant pas que la préservation donne, à grands frais, au bois une durée dépassant la limite assignée aux traverses par l'action destructive des rails, du bourrage, des attaches, des fentes, etc., etc. Prenons un exemple :

Si une traverse en hêtre naturel coûtant 8 fr. 10 plus 0 fr. 65 de préparation au chlorure de zinc [illegible] 8 fr. 75, dure 10 ans, la même traverse préparée à la [illegible] durer 25 ans,

c'est-à-dire un temps proportionnel au prix, soit 18 : 25 :: 2 fr. 7 : 5 fr. 25 et cela sans tenir compte des intérêts du capital supplémentaire. Mais cette traverse résistera-t-elle 25 ans à toutes les causes d'altération mécanique indiquées plus haut.

En matière de préparation des bois, il est hasardeux de formuler quelque règle générale. Tel procédé qui donne d'excellents résultats sur telle essence et dans telles conditions locales n'en donne ailleurs que de médiocres ou de mauvais. Cependant on peut, d'après l'expérience acquise, prévoir jusqu'à un certain point les résultats généraux que l'on trouvera en suivant une méthode de préférence à une autre. Ainsi l'application de la créosote ne paraît pas convenir aux bois exposés à l'air et surtout à la chaleur sèche. Par contre, elle sera parfaitement employée dans les localités humides, dans le ballast terreux, etc.

Ce serait une marche inverse que l'on aurait à suivre dans la préparation des bois à l'aide des sels métalliques. Ainsi les bois de pin des Landes, injectés de sulfate de cuivre en vase clos, donnent aux chemins du Midi les meilleurs résultats, tandis que les mêmes bois pénétrés de créosote se sont promptement altérés, quand ils ont éprouvé les effets de hautes températures et de la sécheresse dans les lignes méridionales.

ballast, on présente sur la face opposée, celle affectée de flaches, le *gabarit de sabotage* armé des deux coussinets à fixer (fig. 279).

Ce gabarit est composé d'une traverse de fer rigide dont chaque extrémité, disposée en fourche, porte un morceau de rail de $0^m,25$ de longueur, fixé de manière que les deux champignons supérieurs soient distants l'un de l'autre de la largeur normale de la voie, et que l'axe de la section transversale du rail présente exactement l'inclinaison des rails dans la voie.

La forme de ce gabarit et le mode d'attache des deux bouts de rails aux extrémités de la barre qui les réunit, peuvent d'ailleurs varier suivant la largeur de la voie adoptée ; mais le principe en reste toujours le même.

Pour commencer l'opération, les saboteurs retournent le gabarit, les rails en haut ; ils y ajustent chacun des deux coussinets à saboter au moyen de deux coins en bois chassés en sens contraire, l'emploi d'un seul coin ordinaire pouvant fausser la position du coussinet. On s'assure que les coussinets sont disposés convenablement par rapport à l'axe du gabarit, et que chaque bout de rail est bien en contact avec son coussinet sur les points déterminés.

Dans cet état le gabarit armé est présenté sur la traverse, avec précaution, pour ne pas déranger les coussinets. Ceux-ci doivent être placés à des distances à peu près égales des extrémités de la traverse et autant que possible dans l'axe de la bille ou suivant une ligne parallèle. On choisira en tous cas pour le plan de pose de chaque coussinet la portion la plus saine du bois ; la semelle ne doit jamais reposer sur une surface qui ne serait pas complètement purgée d'aubier. Quand le bois est fendu, il faut, avant tout, s'astreindre à éviter que les chevillettes ou les tire-fond qui fixent le coussinet ou le rail sur la traverse ne tombent trop près et dans la direction des fentes.

S'il s'agit d'une traverse à face plane, les ouvriers examineront si le contact des semelles et de la surface du bois est parfait dans tous les sens ; s'il n'y a pas contact parfait, on enlève le gabarit pour dresser les surfaces d'appui avec l'herminette, en ayant soin de présenter le gabarit et de retoucher le bois jusqu'à ce que le contact soit obtenu.

Quand la traverse à saboter présente une face circulaire, il faut l'entailler à une profondeur suffisante pour que la semelle du coussinet repose en plein sur le bois parfait. A cet effet, on marque d'abord l'emplacement des coussinets sur la bille, puis le gabarit enlevé, on donne, sur la profondeur voulue à chaque emplacement, deux traits de scie [illegible] dres à la longueur de la traverse, et l'on enlève à l'hermi[illegible] entre les deux traits de scie ; il faut conserver le [illegible] résistance à l'assiette du co[illegible] n service.

§ II.
Préparation des traverses.

Nous avons vu précédemment que les traverses approvisionnées doivent être rangées en piles d'une contenance uniforme et séparées selon leur destination. Avant leur emploi sur la ligne, les traverses sont préparées pour recevoir les rails ou leurs attaches. Les opérations qui se rapportent à cette préparation portent les noms de *sabotage, entaillage et perçage.*

218. — Sabotage. — Cette dénomination de *sabotage* s'appliquait plus particulièrement à la fixation des coussinets sur les traverses ; par extension, elle s'emploie aussi pour désigner l'entaillage des traverses de la voie en rails à base large. Comme la forme des joues des coussinets donne aux rails l'inclinaison voulue, leur semelle doit se trouver sur un plan sensiblement horizontal. Il suffit donc de poser les coussinets sur deux points de la traverse satisfaisant à cette condition.

Les billes étant empilées perpendiculairement à la longueur des tas, on établit à la suite et dans le sens de cette longueur un chantier formé de deux

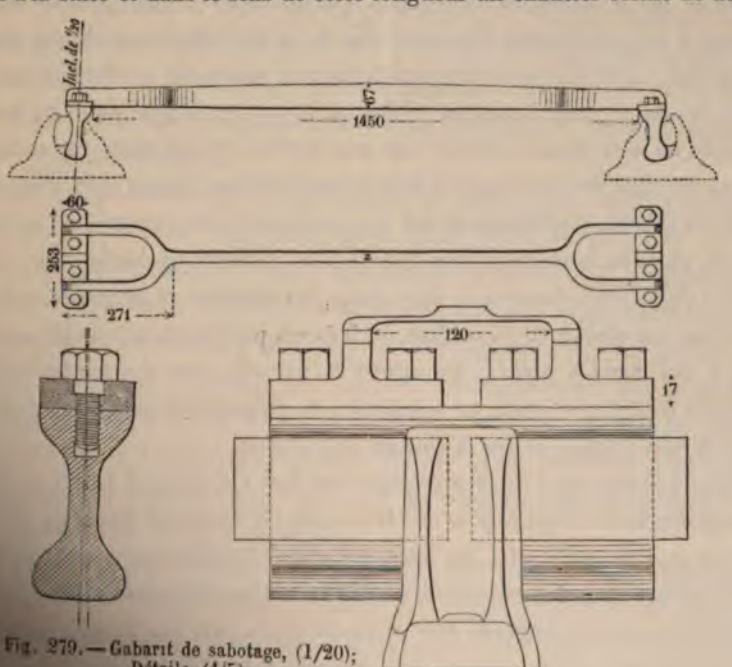


Fig. 279. — Gabarit de sabotage, (1/20); Détails, (1/5).

es de 1m,50 environ l'une de l'autre. On amène chaque ier et, réservant la plus grande face pour la pose sur le

graissés ou goudronnés, ou galvanisés, en les assujettissant au moyen de quelques coups légers d'un petit marteau à main. On visse les tire-fond en se servant d'une clef à douille (fig. 280 A), jusqu'à ce que le collet non fileté soit engagé dans le coussinet. Les autres trous sont ensuite percés comme les premiers et garnis de leurs tire-fond enfoncés à la même profondeur que les autres. On complète alors le serrage des tire-fond en les vissant alternativement, de manière à donner le même degré de serrage de part et d'autre. Pour des tire-fond de 20 millimètres de diamètre extérieur et de 14 millimètres de diamètre du corps, la tarière employée n'a que 14 millimètres, au plus 15 millimètres de diamètre, quand le bois est exceptionnellement dur et qu'il use rapidement le laceret.

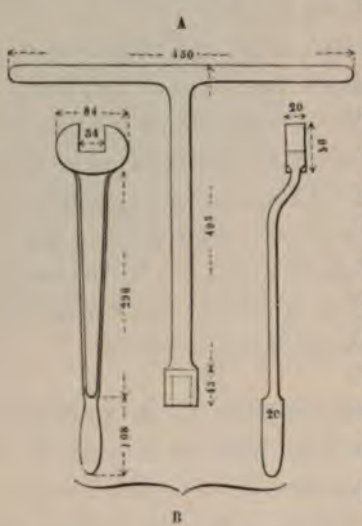


Fig. 280.— A, Clé à douille pour le serrage des tire-fond à tête pyramidale; B, Clé pour le serrage des tire-fond à tête plate des boulons d'éclisses. Ech. 1/10.

Les coussinets étant solidement fixés sur la traverse, on dégage le gabarit avec deux petits leviers, après avoir desserré les coins. Le facile dégagement du gabarit est un indice de bon sabotage. Cette opération, du reste, est toujours vérifiée au moyen d'une jauge que nous décrirons plus loin.

La figure 280 B, représente une clef employée généralement pour le serrage des boulons ou des tire-fond à tête plate à quatre ou six pans.

Toutes les opérations de sabotage de chaque traverse sont effectuées simultanément pour les deux extrémités, par deux hommes composant un atelier. Ces deux hommes, payés environ 3 francs par journée de dix heures, peuvent saboter quarante traverses, ce qui porte à 0 fr. 15 le prix de revient du sabotage d'une traverse.

220. — Entaillage des traverses pour rails Vignoles. — Comme nous l'avons vu, les coussinets en fonte sont depuis longtemps disp[illegible] sés de manière à donner aux rails l'inclinaison qu'ils doivent avoir, tout [illegible] plaçant la semelle sur un pla[illegible]ontal.

Avec les coussine[illegible] les rails Vignoles ou les coussine[illegible] éclisses dont l[illegible] du r[illegible] l'inclinaison [illegible]

verse. Le patin ne s'appuie plus sur un plan horizontal, mais sur deux plans inclinés vers l'axe de la voie d'une quantité déterminée, variant de 1/10 à 1/24 selon les rayons de courbure de la ligne, et qui est en général de 1/20.

Les entailles, pour obtenir ces plans inclinés, peuvent se faire soit à la main, à l'aide d'un gabarit, soit avec une machine à fraiser.

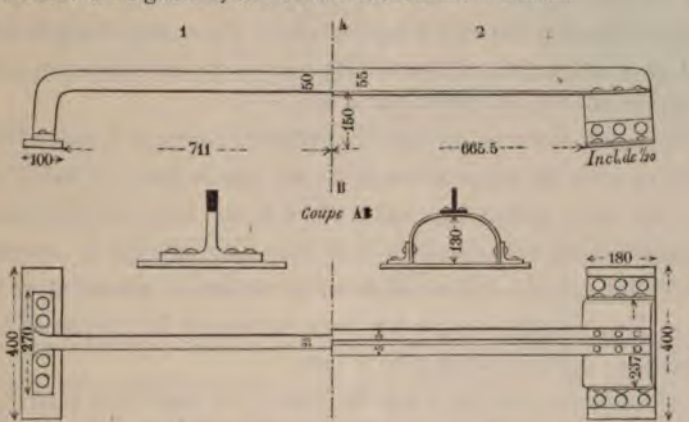


Fig. 281. — Gabarit pour l'entaillage des traverses (Lyon). (1/20).

Dans le premier cas, on se sert d'un gabarit composé d'une traverse en bois ou en fer, portant à chaque extrémité un bloc rectangulaire en bois ou en fer, qui a, en longueur et en largeur, des dimensions suffisantes pour embrasser au moins toute la surface occupée par le patin du coussinet-éclisse ou du rail Vignoles.

Pour préparer les traverses de joints qui reçoivent les coussinets-éclisses, le chemin de fer de l'Ouest emploie un gabarit composé d'une barre en fer portant à chacune de ses extrémités une plaquette en tôle. Ces plaquettes, qui doivent être placées à un écartement correspondant à la largeur de la voie, ont $0^m,30$ de longueur et $0^m,20$ de largeur ; leur face inférieure est inclinée de 1/20 sur l'horizontale.

Au chemin de fer de Lyon, on se sert de deux gabarits analogues, mais de dimensions différentes, l'un (fig. 281,1), pour l'entaillage des traverses intermédiaires sans selles, de la voie Vignoles, l'autre (fig. 281,2), pour l'entaillage des traverses avec selles.

Au chemin de fer du Nord, les blocs en bois fixés aux extrémités du gabarit ont $0^m,35$ de longueur et $0^m,105$ de largeur.

Ces deux pièces sont inclinées de 1/20, de telle sorte que leur face inférieure donne l'inclinaison du fond de l'entaille, et que leurs faces latérales peuvent servir à guider le laceret employé au perçage des trous.

Pour faire les entailles d'une traverse, on place celle-ci sur le chantier la

face affectée de flaches en dessus. Les ouvriers présentent le gabarit sur cette face, en s'arrangeant pour placer les entailles à peu près à égale distance des extrémités de la traverse, sur la portion la plus saine et la plus propre à servir d'appui au rail. Ils tracent alors l'emplacement des entailles, et le gabarit enlevé, ils donnent dans la traverse quatre traits de scie, comme pour le sabotage des traverses à face circulaire. On achève l'entaille à l'herminette ou à la bisaiguë, en ayant bien soin de conserver intactes les faces verticales des entailles produites par la scie.

La profondeur des entailles doit être suffisante pour que le patin du coussinet-éclisse porte sur toute sa longueur, ou que le patin du rail Vignoles s'appuie sur une longueur d'au moins $0^m,14$ de bon bois. Les arêtes du fond de l'entaille doivent être parallèles à la face intérieure de la traverse. On s'assure de l'exactitude des entailles en présentant le gabarit et en retouchant le fond jusqu'à ce que les faces inférieures des plaquettes ou des blocs soient en contact parfait avec le bois.

Il faut s'arranger pour que l'entaille présente un épaulement extérieur suffisant pour soutenir l'attache du patin sans toutefois réduire par trop l'épaisseur de la traverse sous le rail.

221. — Machines à entailler les traverses. — L'entaillage à la raboteuse se fait avec beaucoup plus de rapidité et d'exactitude qu'avec le gabarit que nous venons de décrire.

La machine à raboter qui donne ce résultat consiste en un bâti en fonte de 1 mètre de hauteur, formé de deux cadres verticaux, distants de $2^m,75$ à 3 mètres, selon la grandeur des bois à raboter et réunis par cinq longerons; à $0^m,50$ de hauteur au-dessus du sol, se trouve un plateau horizontal que l'on peut élever ou abaisser à volonté au moyen d'un levier. Au-dessus de ce plateau et sur la face supérieure du bâti, il y a deux chariots, indépendants l'un de l'autre, guidés par des rainures et disposés pour recevoir un mouvement de translation horizontale perpendiculaire à l'axe de la traverse. Ces chariots supportent chacun un porte-rabots présentant, quand il est armé de ses lames, la figure d'un cône tronqué, dont les bases sont formées par deux scies circulaires et dont les génératrices font avec l'axe un angle égal à l'inclinaison du rail sur la voie (fig. 282).

Chaque porte-rabots est mis en mouvement de rotation par deux roues dentées mises au moyen d'une manivelle et d'un petit volant.

Quand on veut raboter une traverse, on la place sous le plateau mobile qui, ainsi chargé, est soulevé [illegible] de deux hommes

placés devant la machine, jusqu'à la hauteur suffisante pour que le bois soit

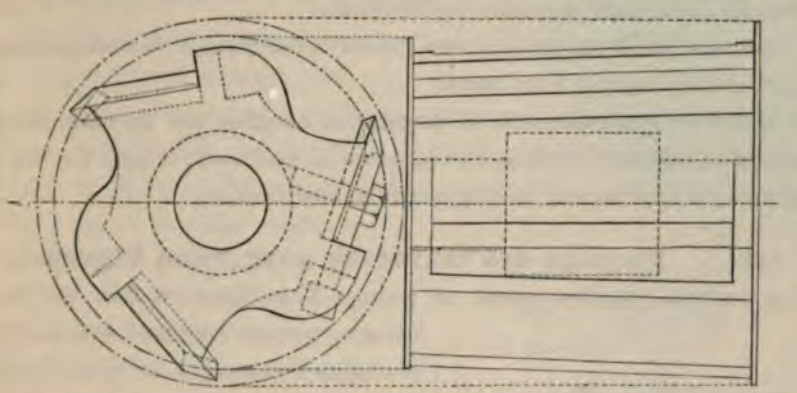


Fig. 282.— Porte-rabots pour l'entaillage des traverses à la machine. (1/4).

attaqué par les rabots. Deux manœuvres placés à chaque manivelle impriment un mouvement rapide de rotation à chacun des porte-rabots qui enlèvent le bois compris entre les deux scies circulaires, au fur et à mesure qu'il avance avec son chariot. Chacun des deux chariots est mis en mouvement au moyen d'une vis de rappel dont la manivelle est commandée par chacun des deux hommes placés en avant de la machine.

Le service de l'outil exige donc six hommes et, pour l'alimenter deux hommes de plus, qui alternent avec les manœuvres tournant la manivelle. Montée sur quatre galets, la machine, ne pesant que 1.900 kilogrammes, peut être roulée facilement à l'extrémité de chaque pile du chantier.

Deux machines de ce genre ont servi au rabotage des traverses employées à la réfection des voies de la ligne de Strasbourg à Bâle. Elles pouvaient entailler jusqu'à 300 traverses par jour, mais en comprenant les temps d'arrêt pour réparations, chômages forcés, etc., elles ont raboté, en moyenne 289 billes pour le prix de 16 fr. 25 de main-d'œuvre, ainsi réparti :

1 chef d'équipe à.	2fr,25	16fr,25
7 manœuvres à 2 francs.	14 ,00	

Les dépenses se sont établies comme suit pour la préparation de 49.794 traverses.

Main-d'œuvre	2.792fr,90	soit par traverse	0fr,0561
Entretien et réparation . . .	692 ,60	—	0 ,0139
Intérêt et amortissement de la machine sur 1.800fr. (6 mois).	180 ,00	—	0 ,0036
Dépense totale. . .	3.665 ,50		0 ,0736

L'entaillage à la machine a donc sur l'entaillage à la main le double avantage de l'exactitude absolue et de l'économie.

Les machines à saboter que nous venons de décrire sont facilement transportées d'un chantier à un autre.

Quand on peut concentrer la préparation complète des traverses sur un chantier principal, il y a intérêt à disposer la machinerie comme l'a fait au chemin du Bourbonnais M. l'Ingénieur en chef Bazaine.

222. — Perçage des traverses pour voies Vignoles. — Les traverses entaillées passent au perçage. L'opération est faite par deux hommes, perçant simultanément les deux extrémités d'une même traverse. Ces ouvriers peuvent se guider au moyen du gabarit qui a servi à dresser les entailles (fig. 281).

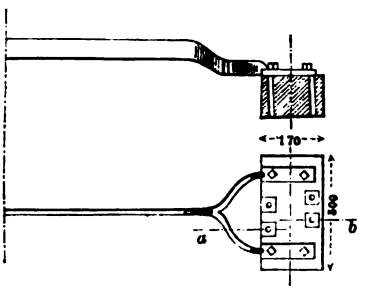


Fig. 284. — Gabarit pour le perçage des traverses de la voie Vignoles sur le chantier. 1/20.

Lors des travaux de réfection de la ligne de Bâle, on a employé pour l'entaillage à la main et le perçage, un gabarit représenté par la figure 284 et qui, bien qu'un peu plus coûteux que le précédent, nous paraît préférable en ce que son emploi ne laisse aucune latitude dans la direction des trous à percer.

Les plaquettes sont remplacées par deux madriers dont la face inférieure est doublée de tôle, et qui sont percés de quatre trous garnis de tubes en fer A l'Est, on a simplement substitué à ce système des blocs en fonte évidés. Enfin, au chemin de fer de Lyon, on emploie pour percer les trous sur place

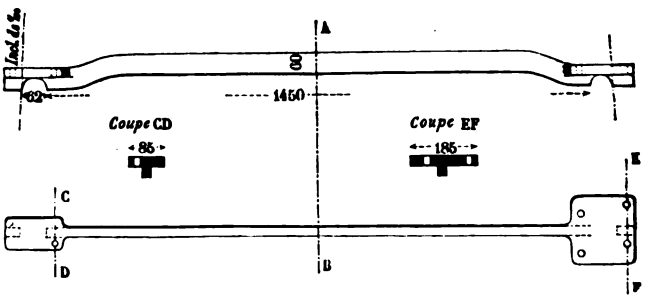


Fig. 285. — Gabarit pour le perçage des traverses sur la voie. 1/20.

un gabarit servant en même temps à maintenir l'écartement des rails (fig. 285).

Le diamètre du laceret de la tarière doit être un peu inférieur ou tout au

plus égal au diamètre du cercle inscrit dans la section pleine de l'attache. On lui donne ordinairement 2 à 4 millimètres en moins, comme nous l'avons vu à l'occasion du perçage des trous pour les chevillettes ou tire-fond servant à fixer les coussinets en fonte (219).

Les trous des crampons à section rectangulaire se placent avec des tarières dont le diamètre doit être inférieur à la plus petite des dimensions. Au chemin de Strasbourg à Bâle, les trous des crampons, de 17 millimètres sur 14, étaient percés avec des tarières de 13 millimètres de diamètre.

Avant de trancher la question du choix du diamètre des tarières qui dépend de l'espèce d'attache adoptée, et de l'essence du bois dont on dispose, on fera bien d'essayer avec une machine simple, un levier à pied de biche par exemple le degré de résistance à l'arrachement que présente l'attache enfoncée dans des trous de différents diamètres et chassée dans le bois à force de bras, sans toutefois que la traverse se fende ou que l'attache soit faussée par les efforts développés pendant l'opération.

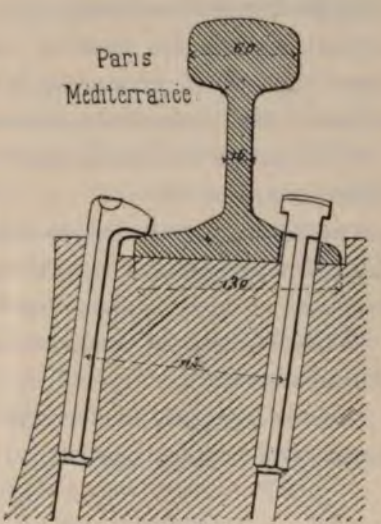


Fig. 286.

Comme nous le verrons plus loin, le perçage préalable des traverses pour rails Vignoles se fait également sur place lors de la pose. On le supprime même dans certains cas (248-249.)

Ce perçage peut aussi se faire sur le chantier de préparation avec une machine à percer spéciale.

Les trous doivent être percés d'outre en outre de la traverse, et dirigés bien perpendiculairement à la surface de l'entaille qui sert d'appui au rail (fig. 286.)

Les traverses sabotées sont remises en piles mortes à la suite du chantier de travail qui se trouve ainsi constamment placé entre la pile des traverses brutes et celles des traverses sabotées.

223. — Réemploi des vieilles traverses. — Les traverses retirées pour une cause quelconque, des voies en exploitation, peuvent être réemployées de nouveau, si le bois en est sain, en bon état ; si, les parties pour-

ries étant enlevées les traverses conservent au moins les dimensions minima des traverses neuves les plus faibles ; si enfin, elles ne portent pas de fentes qui les rendraient impropres au service malgré la consolidation qu'on pourrait y apporter au moyen de boulons. Quand elles réunissent toutes ces conditions, les vieilles traverses reçoivent avant d'être rabotées, une première préparation qui consiste à enlever le bois pourri sur toutes les faces, et à boucher complètement les anciens trous avec des chevilles en bois de chêne bien sec, préalablement trempées dans l'huile ou le goudron.

On procède alors au sabotage de la même manière que pour les traverses neuves, en ayant soin toutefois d'éviter que les nouveaux trous tombent dans l'emplacement des anciens, et en mettant le bois dur complètement à découvert sous la semelle des coussinets ou des rails.

Si l'on emploie des attaches ayant déjà servi, on aura soin de rejeter toutes celles usées au collet.

Les vieilles traverses qui ont encore du bon bois peuvent aussi être utilisées dans leur partie saine, soint en les assemblant à mi-bois, sur toute leur longueur, soit en les ajustant bout à bout.

On emploie aussi les morceaux sains des vieilles traverses à la fabrication des coins (181).

Enfin on tire parti des traverses hors de service en les appliquant à la construction des paraneiges (38) ou comme clôture (102).

224. — Vérifications et réceptions. — Pour s'assurer que le sabotage des traverses est fait avec tout le soin désirable, il faut surveiller attentivement toutes les opérations de détail qui s'y rapportent et passer en revue, chaque soir, les traverses préparées dans la journée. On vérifie le gabarit de sabotage au moins une fois par jour, au moyen d'une jauge spé-

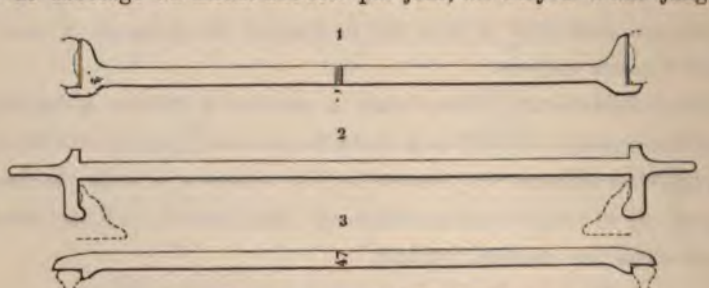


Fig. 287. — Jauge pour la vérification du sabotage, 1/20.

ciale (fig. 287-1), qui se compose d'une règle en fer portant des branches en retour d'équerre dressées suivant l'inclinaison des rails sur la voie. Ces appen-

dices doivent s'appuyer contre les saillies intérieures des rails, tandis que les prolongements rectilignes de la règle s'appliquent exactement contre les faces des champignons inférieurs. Cette jauge peut servir à vérifier non seulement le gabarit de sabotage, mais encore l'écartement de la voie après la pose.

Pour vérifier le sabotage, on se sert d'une jauge spéciale formée d'une règle en fer, portant à chaque extrémité deux talons, un petit et un grand (fig. 287-2).

L'écartement des petits talons est plus faible que celui des grands de trois à quatre millimètres seulement, limite de tolérance que l'on peut adopter pour l'écartement des rails sur la voie.

Pour se servir de cette jauge, l'agent de la surveillance présente aux coussinets sabotés, les deux grands talons qui doivent entrer exactement dans la chambre du rail ; s'il n'y entre pas, malgré le serrage donné aux attaches intérieures des coussinets, ce sera une preuve que l'écartement est trop grand pour les alignements droits ou les courbes à grand rayon ; la traverse sera mise de côté et marquée pour être employée dans les courbes de petit rayon.

Si la jauge ainsi disposée entre trop facilement, on la retourne pour présenter aux coussinets les talons courts ; si ces talons entrent dans les coussinets malgré le serrage donné aux attaches extérieures, ce sera une preuve que l'écartement des coussinets est trop faible, et la traverse sera refusée.

S'il s'agit de vérifier les entailles faites pour rails à patin ou coussinets-éclisses on se servira simplement des gabarits indiqués (fig. 281 et 284), qui doivent s'appliquer très exactement sur le fond de l'entaille.

Enfin, les jauges représentées par la figure 287, 1-2, servent à vérifier l'écarment des rails après la pose.

Tous les gabarits étant des *outils de précision*, l'agent tiendra la main à ce qu'ils soient manœuvrés avec soin, sans percussion ni efforts.

Les réparations ou vérifications de gabarit ne doivent se faire que sur des épures d'une exactitude irréprochable, et, autant que possible, dans un seul et même atelier. Pour que le travail ne chôme pas sur un chantier en cas de rupture ou d'inexactitude d'un gabarit, il faut pourvoir chaque chantier d'un ou de deux gabarits de rechange.

Les coins employés au serrage des coussinets pendant le sabotage sont remplacés dès qu'ils n'ont plus la forme ou la résistance nécessaires pour produire un coinçage parfait.

Avant d'être sabotées, toutes les traverses qui ne sont pas en excellent état, sont soumises à l'inspection du chef de chantier, qui décide de leur emploi ou de leur mise au rebut. Celles qui portent des fentes peu profondes peuvent,

comme nous l'avons vu, être consolidées par des boulons ou des cales à clef et faire un bon service dès que la fente ne peut plus s'étendre (154).

Quand une traverse déjà percée de trous doit être employée de nouveau, on remplit les vieux trous avec des chevilles de bois bien sec et goudronnées.

Le sabotage et le perçage terminés, il est bon de goudronner les entailles et les trous. Le goudron doit être appliqué à chaud, par un beau temps et sur des surfaces sèches. On l'étend sur l'entaille au moyen d'un pinceau, et on remplit les trous avec une cuiller à bec, après les avoir tamponnés à leur orifice inférieur. La galvanisation des tire-fond ne dispense pas du goudronnage des trous.

Le chef de chantier doit dresser tous les jours un procès-verbal de réception pour l'annexer au décompte à payer aux ouvriers dans le cas où cette pièce serait demandée pour le règlement de la comptabilité.

§ III.

Préparation des rails et attaches.

Les rails sont généralement livrés, dans les chantiers, prêts pour la pose, c'est-à-dire parfaitement dressés, dégauchis et percés de trous ou d'encoches destinés à recevoir les boulons d'éclisses ou les attaches sur les traverses.

Néanmoins, il peut arriver que ces opérations n'aient pas été faites dans les usines de fabrication, ou bien qu'on reçoive dans un chantier des matériaux provenant soit des voies ayant servi à la construction de la ligne, soit de la démolition d'une voie ancienne posée sans les perfectionnements récemment introduits dans la construction et enfin des rails neufs qui peuvent avoir subi des transports par mer et par terre et plusieurs manutentions de chargement et de déchargement, de telle sorte que dans ces différents cas ils aient été faussés ou déformés, il nous paraît donc nécessaire d'entrer dans quelques détails concernant la préparation des rails avant la mise en place définitive.

225. — Dressement et courbage des rails. — Il y a plusieurs moyens de redresser les rails courbés Le plus simple consiste à installer sur le chantier une voie de la longueur d'un rail ordinaire (1) ; contre l'un des

(1) Chemin de fer du Hanovre.

rails on couche un gabarit formé d'un madrier de 6 mètres de longueur et de $0^m,12$ d'épaisseur. Une des faces verticales est droite, et l'autre découpée en arc de cercle, ayant $0^m,20$ de flèche, la face courbe présentant en creux le profil latéral des rails. Ainsi disposé, ce madrier présente une longueur de $0^m,50$ en son milieu, et $0^m,30$ à ses extrémités.

Le rail est placé contre cette partie courbe du gabarit et soumis, dans cette position, à l'action de deux crics puissants dont on peut faire varier l'énergie selon la courbure plus ou moins prononcée du rail. Quand le rail courbé présente un angle un peu vif, on a recours à l'interposition d'un bloc de bois pour augmenter encore la flèche du gabarit.

S'il s'agit, au contraire, de courber des rails droits pour une voie de petit rayon, pour des voies de changement par exemple, on se sert du même procédé, en donnant au gabarit une flèche plus grande. Mais si les voies à poser contiennent beaucoup de courbes à faible rayon, il peut être plus avantageux d'employer une machine à cintrer les rails.

Cette machine est composée de trois cylindres horizontaux dont les axes se trouvent au sommet d'un triangle isocèle (fig. 288). Ces cylindres portent une cannelure profilée suivant la section des rails. Selon le degré de courbure à donner ou à faire disparaître, on passe le rail une ou plusieurs fois entre les cylindres, que quatre hommes, d'ailleurs, font facilement tourner.

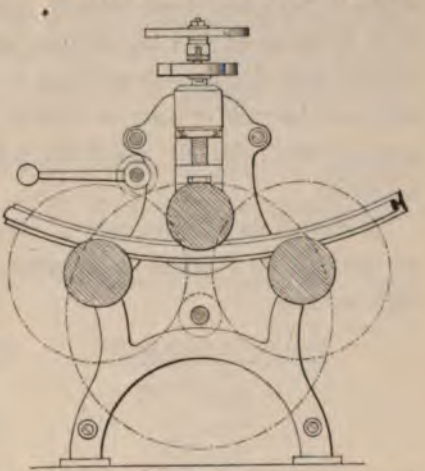


Fig. 288. — Machine à cintrer les rails. (1/25.)

On peut encore se servir d'une vis commandée par un grand levier (fig. 289) portant à ses extrémités deux masses lourdes ; l'écrou de la vis est fixé à la branche horizontale d'un étrier dont les branches verticales sont attachées au plateau d'un fort établi. Le rail étant soutenu à une certaine distance de la vis par deux points fixes, l'action de la vis s'exerce sur la partie de la barre à redresser ou à courber.

Cet outil est très énergique, trop énergique même ; quand il est mal employé, son action peut dépasser le but et rompre la cohésion du fer. On ne doit donc en tolérer l'usage qu'avec une très grande réserve, nous serions

même d'avis de le proscrire d'une manière absolue, si l'emploi ne pouvait en être surveillé par un agent consciencieux, prudent et expérimenté.

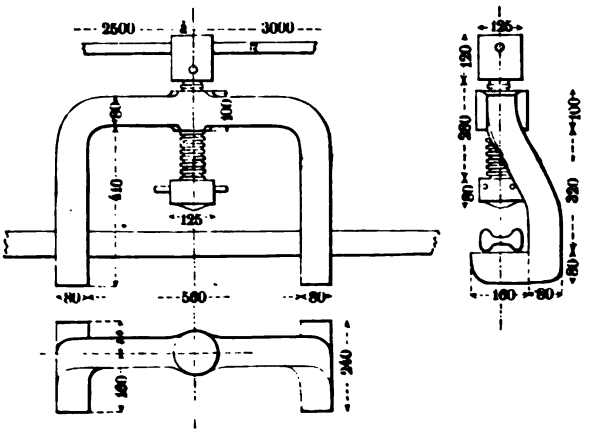


Fig. 289. — Presse à dresser les rails (1/20).

Le dressement et le courbage des rails s'opèrent enfin, et très simplement, sur le chantier même de pose, en laissant tomber sur deux traverses ordinaires le rail à plat d'une hauteur qui dépend de la forme, du poids du rail et de la nature du fer; les ouvriers acquièrent rapidement l'expérience nécessaire pour obtenir avec certitude la flèche voulue, sans toutefois briser le rail; avec les rails en acier on obtient le même résultat, en faisant l'ouvrier agir par son poids au milieu du rail reposant sur une traverse à chaque extrémité.

Au chemin de l'Est français (1), avec les rails Vignoles en fer de 35 kil. au mètre, et de 6 mètres de longueur, on prend les nombres suivants pour règle normale:

Hauteur de chute du rail	Flèches	Rayons des courbes
m	mm	m
0,65	5	900
0,80	10	600
0,90	15	300

Distance des deux traverses recevant le choc, 3m,50.

Pour les rayons de :	300.	400.	500.	600.	700.	800.	900.	1.000m
les flèches sont :	15.	13	12.	10.	8.	7.	5.	4mm

Une précaution essentielle à prendre consiste à classer les rails suivant leur degré de courbure, et à les marquer d'un signe indiquant la grandeur du rayon.

(1) Instruction pour la pose de la voie — Décembre 1868.

Le redressement des rails ou le courbage coûte moyennement 0 fr., 05 à 0,fr.,20 par rail.

226. — Perçage des trous de boulons. — Cette opération peut se faire au *foret* ou au *poinçon*, mais ce dernier procédé est généralement abandonné par les Compagnies.

La machine à forer porte une ou deux mèches, selon qu'on veut percer un ou deux trous à la fois ; quand les trous sont très rapprochés de l'extrémité du rail, cette machine est indispensable, l'action du poinçon pouvant faire fendre le rail.

Comme la machine à forer, celle à poinçonner peut être également disposée pour percer un ou deux trous ; mais il faut bien se garder de faire engager les deux poinçons en même temps, car il y a presque toujours dans ce cas, rupture du rail ou surcharge de la machine.

La préparation du poinçon constitue à elle seule la partie la plus délicate du poinçonnage

On emploie à cet usage une tige d'acier du diamètre maximum que doit avoir le poinçon terminé; la pièce est forgée, tournée selon la forme adoptée, chauffée au rouge sombre et trempée dans l'eau froide, puis polie au papier d'émeri ; enfin on la fait revenir au bleu clair ou au violet, en la plaçant dans un tube en fer forgé ou entre deux plaques de fer préalablement chauffées au rouge-cerise

Aux forges d'Aubin, les outils à tremper sont placés dans un four dormant chauffé au coke, et dans lequel on les amène avec ménagement à la chaleur rouge.

On les retire du four pour les recouvrir d'une poudre composée d'un mélange fondu et pulvérisé de :

Borax	0k500
Sel ammoniac	0.250
Prussiate de potasse. . .	0.100
Résine.	0.060
	0.910

La pièce saupoudrée est remise au feu jusqu'à ce que la matière soit bien fondue, puis retirée et plongée brusquement dans l'eau froide, qui lui enlève complètement sa chaleur.

Un poinçon convenablement trempé perce en moyenne, sans s'émousser, 800 trous de $0^m,033$; il peut être rafraîchi et retrempé trois fois, ce qui donne 1.600 rails percés par un poinçon, soit une durée de quatre jours de travail.

Rien n'est plus capricieux que la résistance de cet outil; on a vu des poinçons fabriqués par la première méthode, aux usines du Phœnix, percer 12.000 rails; d'autres, au contraire, étaient mis hors d'usage au deuxième rail, quelques-uns même se brisaient au premier trou.

Généralement, les Compagnies de chemins de fer se font livrer, par les forges et aciéries, les rails percés aux extrémités, car le perçage des rails est une opération qui paraît simple, mais qui peut aussi devenir très dispendieuse si elle n'est pas judicieusement organisée. Sur les travaux, un chantier bien disposé doit comprendre deux voies pour l'arrivée et le départ des matériaux. Entre ces voies se trouve un espace de 50 mètres. Au milieu se place la machine à poinçonner, d'un côté les dépôts des rails à percer et de l'autre les rails percés prêts à être chargés sur vagons. Quand on ne peut les expédier immédiatement et qu'on doit les déposer pour être repris plus tard, le prix de revient en est accru d'autant. L'opération est assujettie à un grand nombre de conditions très importantes; mais celle qui les domine toutes, c'est l'installation des moyens efficaces pour utiliser complètement le mouvement imprimé aux poinçons.

Il faut prendre les dispositions pour que l'alimentation ne souffre aucun retard, que le virement de chaque rail, bout pour bout, se fasse pour ainsi dire instantanément, que chaque rail se dégage facilement de la matrice, que le poinçon ne reste par serré dans le trou, etc...

Quand toutes ces conditions sont remplies, quatorze ouvriers comprenant :

1 chef d'équipe à. . . .	4f00
12 manœuvres à.	2.60
1 enfant à	1.00

peuvent prendre les rails en piles à coté de la machine, les percer de 4 trous et les charger sur vagons au nombre de 300 par jour, surtout si on affecte une prime sur les quantités terminées.

Les dépenses peuvent s'établir ainsi :

Main-d'œuvre.	35 fr.
Prime	10
Poinçons	1
Graisse, huile.	1
Amortissement de la machine et de ses accessoires, hangars, etc.	3
	50
A déduire pour les débouchures	5
	45

Soit par rail 0 fr. 15.

Avec les machines à forer, le prix de revient du perçage est de 0 fr. 40 par rail ; il y aurait donc intérêt à employer la machine à poinçonner quand le nombre de rails à percer est important.

Voici les prix des différentes machines :

Machine à un foret (110 k.)	400 fr.
Machine à deux forets (210 k.)	600
Machine à double poinçon (7.000 k.). . . .	6.800

Quand on peut activer la poinçonneuse par une machine à vapeur, ainsi que cela se pratique dans les forges à rails, l'opération est beaucoup plus économique. En outre, le travail est beaucoup simplifié quand le perçage des quatre trous se fait sans retourner le rail bout pour bout ; il suffit pour cela de ménager dans la table d'appui du rail, sur le bâti et de chaque côté du porte-poinçon, des entailles correspondant à chaque trou et pouvant recevoir alternativement un taquet contre lequel vient buter le rail.

La manœuvre est très simple : deux hommes à droite de la machine font glisser sur des rouleaux le rail à percer, jusqu'à ce qu'il touche le taquet placé pour arrêter le rail au premier trou ; ce trou percé, le taquet est enlevé et placé dans la deuxième entaille de gauche, où il arrête le rail poussé pour recevoir le deuxième trou ; ceci fait, le taquet est enlevé pour être placé à droite du poinçon ; le rail, poussé vers la gauche de la machine, est saisi par deux autres manœuvres qui répètent pour la deuxième extrémité du rail, les opérations qui ont été effectuées pour le percement des trous de la première.

La manœuvre, comme on voit, est plus rapide qu'avec une machine demandant le virement du rail ; aussi ce procédé permet-il de percer des trous ayant $0^m,033$ de diamètre sur $0^m,022$ de profondeur, jusqu'à 600 rails par jour.

Pour poinçonner 400 rails par jour avec une machine motrice il suffit d'un machiniste, quatre ou cinq manœuvres et un gamin. Le nombre des manœuvres dépend naturellement du poids du rail.

Le perçage des trous de boulon doit quelquefois se faire sur la voie au moyen d'une machine à forer portative ou même d'un simple foret à déclic. Il faut, dans ce cas, prendre toutes les précautions possibles pour éviter les erreurs dans la position des trous qui doivent correspondre à ceux des éclisses. Dans ce but, l'outil foreur est guidé dans son travail par un gabarit que l'ouvrier applique à l'extrémité du rail avant de commencer l'opération.

La figure 290 représente ce gabarit qui porte à l'une de ses extrémités un talon destiné à buter contre le bout du rail à percer. Quand les trous sont forés on peut en vérifier la position au moyen du gabarit déjà décrit. (Fig. 291).

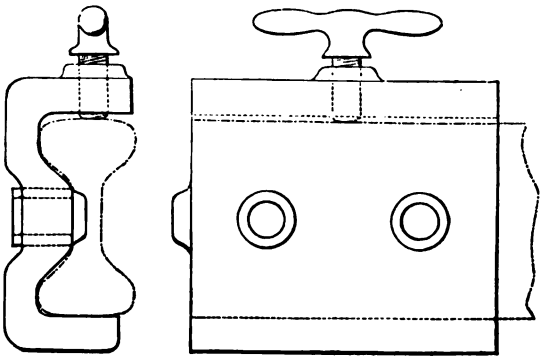


Fig. 290. — Gabarit pour le perçage sur place des trous des boulons d'éclisses (1/5).

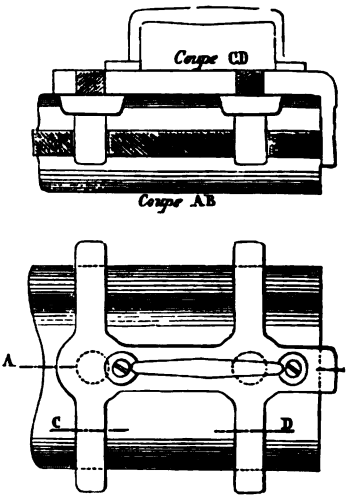


Fig. 291. — Gabarit de vérification du perçage des trous (1/5).

227. — Encochage. — Les patins des rails Vignoles doivent quelquefois recevoir des encoches qui embrassent tout ou partie de la section des attaches sur la traverse, et arrêtent le glissement longitudinal des rails.

L'encochage s'effectue au moyen d'un emporte-pièce travaillant sous la pression d'une vis à trois filets de $0^m,07$ de diamètre extérieur et $0^m,06$, de pas. Un balancier de 2 mètres de longueur met la vis en mouvement, et, en une descente de l'outil, lui fait produire deux encoches. Pour faciliter l'opération le poinçon est divisé en 2 étages qui travaillent l'un après l'autre, et enlèvent l'encoche par parties successives dans une même descente de l'outil.

La machine, pour être desservie convenablement, demande le travail de dix hommes ; la dépense se répartit de la manière suivante pour 300 rails encochés par jour :

10 hommes à 2 francs par jour en moyenne. .	20fr00	
Prime.	3.00	
Graissage, etc	0.25	
Poinçon.	0.25	
Amortissement (sur 600m)	0.30	
		23fr80
A déduire les débouchures		2.80
Total de la dépense par jour.		21fr00

Soit par rail 0 fr. 07.

Ce même travail fait à la main a été payé 0 fr. 11 par rail, sans compter les frais de bardage.

228. — Chanfreinage. — Le champignon des extrémités des rails neufs en fer présente fréquemment des exfoliations. Cette cause d'avarie, insignifiante à l'origine, amenait souvent la mise au rebut de rails fabriqués d'ailleurs dans de bonnes conditions ; elle provenait du refoulement dans le sens longitudinal des fibres du fer qui se trouvaient exposés au choc répété des roues.

On y a obvié en pratiquant simplement sur le pourtour de la section du champignon un chanfrein auquel on peut donner sans inconvénient $0^{m},005$ de largeur, en l'inclinant de 45° sur la face du joint. Cette opération s'exécutait facilement à la lime, dans le cours des manipulations que subissent les rails avant la pose.

Un ajusteur peut chanfreiner 200 rails par jour, à raison de 5 francs, la fourniture des limes étant à sa charge ; l'opération revient donc à 0 fr. 025 par rail.

Les extrémités des rails en acier ne présentent pas ces défauts et doivent être parfaitement finies avant l'expédition des usines.

229. — Selles, Coussinets-éclisses, Boulons. — Ce petit matériel arrive, en général, prêt pour la pose ; il est néanmoins important de le vérifier au chantier avant de le distribuer sur la ligne, car le transport en est coûteux et les pièces dépareillées ou faussées peuvent se perdre ; l'administration serait mise par là dans l'impossibilité d'en demander le remplacement au fournisseur.

Les éclisses, selles, etc., qui viennent en contact avec les traverses ou les rails, doivent s'y appliquer très exactement et leurs trous recevoir sans difficultés les boulons, tire-fond et crampons ; il faudra donc s'assurer au moyen de gabarits exactement dressés, que les faces ne présentent aucune inégalité ou saillie qui empêcherait le rapprochement des portées ; les pièces qui présenteraient ces imperfections seront ajustées à la lime ou au ciseau à froid ; celles que le transport aurait trop fortement avariées seront réparées dans un atelier spécial, et confiées à des ouvriers très exercés à ce genre de travail. Les éclisses ou coussinets-éclisses seront réunis par paires munies de leurs boulons. On examinera également si les filets de vis des tire-fond et des boulons sont bien sains et non avariés ; avant de les livrer aux poseurs, il faut les nettoyer et les graisser ; même observation pour les écrous, qui ne devront avoir que le jeu suffisant pour pouvoir être manœuvrés à la main. Il est inutile d'ajouter que tous ces matériaux sont soumis au chantier à une

comptabilité sévère, qui doit renseigner très exactement sur leur entrée et leur sortie.

230. — Observation sur le coltinage des matériaux. — Dans toutes les opérations que subit le matériel de la voie, on remarquera que le coltinage est de toutes la plus importante, par les dépenses qu'elle occasionne.

Elle peut se résumer par un chiffre : 1 mètre courant de voie simple se compose en général d'une traverse avec ses attaches et de 2 mètres de rails. Or, le bardage d'une traverse comprenant l'enlèvement, le transport à 20 m. et le rangement ne peut pas être évalué à moins de . . . . 0 fr. 05

Le maniement d'un rail de 6 mètres, dans les mêmes circonstances, coûte en moyenne 0 fr. 15 et pour 2 mètres . . . . 0 fr. 05

Ensemble . . . . . 0 fr. 10

Cette dépense se multipliant par le nombre de manœuvres qu'on fera subir à ce matériel, peut s'élever, selon les circonstances, à 200, 300 ou 400 francs par kilomètre de voie. L'Ingénieur de la voie portera donc toute son attention sur l'organisation des chantiers de préparation, de manière à éviter toutes les fausses manœuvres, les doubles emplois ; en un mot, il devra prendre ses mesures pour que le matériel ne fasse que traverser le chantier de préparation, sans s'y arrêter, si c'est possible.

§ IV

Pose de la Voie

231. — Piquetage. — Lorsque les terrassements sont achevés et la plate-forme pourvue de toutes les dispositions propres à l'assécher d'une manière permanente, il s'agit d'établir la voie, conformément au tracé géométrique arrêté par la direction. La première opération consiste à piqueter l'axe du chemin de fer, sur la plate-forme, en appliquant une des méthodes décrites au chapitre II, § 1.

Les piquets de $1^{m},20$ de longueur minima sont enfoncés dans la plate-forme à la distance de 100 mètres en alignement droit et de 50 mètres en alignement courbe. Dans les courbes de petits rayons, la distance des piquets doit descendre à 25 mètres. Au moyen du profil en long arrêté, on placera

d'autres piquets à tous les changements de direction de l'axe ou d'inclinaison de la ligne. Ces derniers piquets, d'une forme spéciale, seront enfoncés avec soin de manière que la tête soit exactement au niveau de la surface des rails.

Au chemin de fer du Hanovre, on préfère indiquer cette hauteur par un trait de scie horizontal qui sert de point de répère à deux petits piquets placés sur une ligne perpendiculaire à l'axe, et dont la tête affleure le niveau des rails. Pour garantir ces piquets principaux des avaries et dégradations qui peuvent les atteindre en cours de travail, on les entoure de tuteurs enfoncés obliquement dans la plate-forme, et qui les protègent sans les cacher. — (Chapitre II, § 1).

232. — Ballastage. — Le ballastage sur une ligne en construction doit se faire en deux couches. La première couche peut être exécutée de deux manières : (152).

— En utilisant une des voies provisoires ayant servi aux terrassements ;

— En posant une voie provisoire sur la plate-forme ;

Dans le premier cas, il y a lieu de distinguer la méthode à appliquer sur un chemin à une voie, de celle pratiquée sur une ligne à deux voies.

233. — Ballastage d'une ligne à simple voie. — Il faut organiser les trains de ballastage de manière que leurs croisements puissent se faire, soit dans les stations, soit dans les voies d'évitement établies entre deux stations. Les garages ou évitements doivent se raccorder à leurs extrémités avec la voie principale, et se développer en une longueur suffisante pour laisser toute liberté de circulation sur la voie principale.

Indépendamment de ces garages, il peut être bon de placer de loin en loin, tous les 5 kilomètres par exemple, des voies de dépôt de matériel roulant. Ces voies pourront, au besoin, être établies en impasse ou terminus, sur des terrains loués et occupés temporairement.

Le dressement de la plate-forme étant parachevé, on amène le ballast sur trains complets remorqués par des chevaux ou des locomotives. On ne peut se servir que de vagons basculant dans le sens longitudinal ou de vagons à plate-forme fixe. Le train arrivé sur l'emplacement à ballaster, on sépare les vagons pour répartir le ballast sur la longueur correspondante au volume transporté. Les vagons déchargés et le train enlevé, on régale le ballast, en lui conservant une hauteur telle, que son niveau supérieur coïncide avec le niveau inférieur des traverses de la voie définitive.

Pour une ligne à une voie, la quantité de ballast nécessaire à la première

couche se calculera sur un cube de $5^m \times 0^m,25 = 1^{m^3},250$ par mètre courant de voie.

Il faut veiller à ce que le ballast en tas ne recouvre jamais la surface des rails ; aussi les dépôts dans la voie qui ne seront pas répandus immédiatement, devront être distants, comme nous l'avons vu, de $0^m,20$ au moins des rails, et ne pas dépasser leur niveau de plus de $0^m,10$. En dehors de la voie, les dépôts pourront être établis sur une hauteur quelconque, pourvu que l'inclinaison du côté des talus ne dépasse pas 45°, et que le pied des talus soit à $0^m,25$ au moins du rail. (152).

234. — Ballastage d'une ligne à deux voies. — S'il s'agit de ballaster une ligne dont les terrassements sont faits pour deux voies, on portera la voie provisoire sur l'un des côtés de la plate-forme ; l'autre côté, resté libre, sera dressé avec tous les soins prescrits.

Les garages et remisages des trains peuvent être ménagés sur l'emplacement de la deuxième voie et, par conséquent, séparés par des distances que l'Ingénieur fixe à volonté.

Le ballast est alors amené par les trains composés de vagons basculant de côté ou de vagons à plate-forme fixe.

On fera le répandage et le régalage du ballast, en ayant soin d'observer les recommandations précédentes relatives à la hauteur et à la distance des dépôts par rapport aux rails.

235. — Ballastage avec les matériaux de la voie définitive. — Quand on ne dispose pas de voie de terrassement, le dressement de la plate-forme étant d'ailleurs terminé, on commence par établir à l'emplacement fixe, et sur une plate-forme, une voie provisoire avec les matériaux de la voie définitive. A cet effet, la surface de la terre sur laquelle on doit poser est bien dressée. On répartit sur cette surface les traverses à leurs emplacements respectifs, en commençant par les traverses de joint (232). On met ensuite les rails en réglant convenablement les joints (233), puis, à leur place, les traverses intermédiaires, et on pose les tire-fond ou les crampons en bourrant légèrement.

La voie posée sur terre sert au transport de son ballast et des matériaux nécessaires pour la prolonger, mais on a soin de conduire le travail de manière qu'il ne passe jamais plus d'un train avant un premier relèvement sur ballast. A cet effet, tout train de ballast arrivant [illegible] voie posée sur terre, s'arrête dès qu'il [illegible] du [illegible] décharge [illegible]

place ; il se retire, la voie est relevée, réglée et raffermie (249), de manière à pouvoir recevoir les trains suivants, sans aucun dommage pour ses éléments. On arrive à la hauteur définitive par des relevages successifs dont aucun ne doit dépasser $0^m,10$ à $0^m,12$, et conduits de manière à conserver des raccordements sans ressauts brusques avec les parties non relevées.

Les relevages doivent se faire en agissant sous les traverses et non sous les rails, afin de ménager les attaches.

Les questions de vitesse, de sûreté et de police des trains, sont traitées ailleurs. — EXPLOITATION : *Mesures de sécurité.*

236. — Répartion des traverses.(1) — *Rails à champignons symétriques.* — Au chemin de fer du Nord, les rails de 6 mètres à 2 champignons, posés sans éclisses, étaient soutenus par huit traverses ainsi espacées :

$$^1\overline{0,50}\,^2\overline{0,70}\,^3\overline{0,90}\,^4\overline{0,90}\,^5\overline{0,90}\,^6\overline{0,90}\,^7\overline{0,70}\,^8\overline{0,50}\,^1$$

ce qui donne :

2 portées de	0,50.	=	1^m00
2 —	0,70.	=	1.40
4 —	0,90.	=	3.60
			6^m00

Les mêmes rails, posés avec éclisses en porte-à-faux, étaient soutenus par sept traverses réparties de la manière suivante :

$$\overline{0,30}\,^1\overline{0,90}\,^2\overline{0,90}\,^3\overline{0,90}\,^4\overline{0,90}\,^5\overline{0,90}\,^6\overline{0,90}\,^7\overline{0,30}$$

c'est-à-dire :

2 portées de	0^m30	=	0^m60
6 —	0.90	=	5.40
			6^m00

La voie des chemins de l'Ouest, en rails à champignons symétriques avec coussinets-éclisses aux joints, était posée comme suit, pour un rail de 6 mètres :

$$^1\overline{0,80}\,^2\overline{1,10}\,^3\overline{1,10}\,^4\overline{1,10}\,^5\overline{1,10}\,^6\overline{0,80}\,^1$$

ce qui donnait :

2 portées de	0^m80	=	1^m60
4 —	1.10	=	4.40
			6^m00

(1) Voir appendice, une note de M. L. Barré, Ingénieur civil, sur la résistance des rails, eu égard à la distance des supports.

Dans les parties de voies très fatiguées ou présentant un tracé accidenté, on plaçait une traverse de plus, et la longueur du rail de 6 mètres était ainsi divisée :

1	2	3	4	5	6	7	1
0,60	0,90	1,00	1,00	1,00	0,90	0,60	

Soit :

2 portées de	0^m60	. . . .	=	1^m20
2 —	0.90	. . . .	=	1.80
3 —	1.00	. . . .	=	3.00
				6^m00

Mais les nécessités du trafic ont obligé la Compagnie à consolider encore sa voie et les rails de 6 mètres ont été posés sur 8 traverses. En adoptant des rails de 12 mètres de longueur, les Ingénieurs de la Compagnie de l'Ouest ont pu les substituer aux anciens rails de 6 mètres, sans apporter aucune modification à la pose des traverses existantes, ainsi qu'il résulte du croquis ci-dessous :

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
0,30	0,70	0,80	0,80	0,804	0,80	0,80	0,70	0,60	0,70	0,80	0,80	0,804	0,80	0,80	0,70	0,30

< Rail ancien de 6 mètres >< Rail ancien de 6 mètres >

< Rail nouveau de 12 mètres >

Les nouveaux rails de 38 k. 750 et de 44 kilogrammes, avec joints en porte-à-faux, sont posés pour une longueur de 12 mètres, sur 15 ou 18 traverses, suivant l'importance des lignes.

1° *Pose sur 15 traverses*

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
0,30	0,72	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,834	0,834	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,72	0,30

2° *Pose sur 18 traverses*

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
0,30	0,64	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,748	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,46	0,30

La substitution de rails de 12 mètres, à des rails de 8 mètres, nécessite le déplacement de 6 traverses par rail, comme on le voit ci-dessous :

< Rail de 8^m posé sur 10 traverses >< Rail de 8^m posé sur 10 traverses >

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A 10	A 1	A 2	A 3	A 4	A 5	6	7
	720	850	850	850	865	850	850	850	720	600	720	850	850	850	865	850	
									802,5	805	805	805	805	700	600	700	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	N 10	N 11	N 12	N 13	N 14	N 15	N	

< Rail de 12^m posé sur | 15 traverses >

Les rails à coussinets du chemin bavarois Ludwigs-West-Bahn ayant $0^m,122$ de hauteur et pesant 34 k. 25 par mètre, lorsque la longueur était de $6^m,140$ (21 pieds), ont été divisés en :

2 portées	de 0^m759	. . . . .	= 1^m518
2 —	0.856	. . . . .	= 1.712
3 —	0.970	. . . . .	= 2.910
			6^m140

Quand la longueur était de $5^m,250$ (18 pieds), il y eût :

2 portées	de 0^m759	. . . . .	= 1^m518
2 —	0.859	. . . . .	= 1.718
2 —	1.007	. . . . .	= 2.014
			5^m250

Rails Vignoles. — Les espacements des traverses sur les lignes du Hanovre et sur le chemin central Suisse varient avec la longueur des rails. Pour $6^m,40$ (21 pieds anglais), il y a :

CENTRAL SUISSE				HANOVRE			
2 portées	de 0^m725.	.	= 1^m45	2 portées	de 0^m778.	.	= 1^m556
6 —	0.825.	.	= 4.95	2 —	0.925.	.	= 1.850
			6^m40	3 —	0.998.	.	= 2.994
							6^m400

Pour $5^m,487$ (18 pieds anglais) :

2 portées	de 0^m681.	.	= 1^m362	2 portées	de 0^m784.	.	= 1^m568
5 —	0.825.	.	= 4.125	2 —	0.961.	.	= 1.922
			5^m487	2 —	0.998.	.	= 1.997
							5^m487

Pour $4^m,572$ (15 pieds anglais) :

2 portées	de 0^m636.	.	= 1^m272	2 portées	de 0^m790.	.	= 1^m580
4 —	0.825.	.	= 3.300	2 —	0.961.	.	= 1.922
			4^m572	1 —	1.070.	.	= 1.070
							4^m572

Les rails des chemins Badois, type Vignoles, ont $0^m,120$ de hauteur et pèsent 37 k. 5, par mètre courant. Ceux de 6 mètres de longueur étaient posés sur huit traverses présentant huit espacements de $0^m,75$, d'axe en axe des traverses.

Tout en tenant compte de l'augmentation de poids des rails, les voies sur lesquelles des trains possèdent une vitesse de plus en plus considérable ont dû être fortement assises par l'emploi d'un plus grand nombre de traverses.

En France, la vitesse des trains rapides varie de 65 à 80 kilomètres à l'heure, et l'espacement des traverses intermédiaires varie entre $0^m,76$ et $0^m,94$.

Aux États-Unis, on rapproche beaucoup plus les traverses, on ne laisse guère que l'intervalle exigé pour l'entretien.

En Angleterre, les vitesses des trains rapides correspondent à 80 et 85 kilomètres à l'heure, et l'espacement moyen des traverses intermédiaires se rapproche des limites adoptées par les voies françaises.

L'État Belge (fig. 225, page 388), place son rail d'acier de neuf mètres, pesant 52 kilogrammes le mètre, sur 12 traverses métalliques dont l'écartement moyen est de $0^m,845$ et l'espacement au joint $0^m,60$, conformément au diagramme ci-dessous :

< 9 mètres >

300	700	700	800	800	800	800	800	800	800	700	700	300

Au chemin de fer de l'Est français, avec le rail pesant 35 kilogrammes, on avait admis deux sortes de pose : Il y avait, par rail, une traverse de joint et cinq ou six traverses intermédiaires, cinq sur les lignes secondaires, six sur les lignes à lourd trafic. On a :

Dans le premier cas :	Dans le deuxième cas :
2 portées de 0^m80	2 portées de 0^m75
2 — 1.075	5 — 0.90
2 — 1.125	

En adoptant le rail d'acier pesant 44 k. 20 le mètre courant, les Ingénieurs de cette Compagnie ont placé les joints chevauchés à mi-rail et la répartition des traverses est faite comme suit :

< 12 mètres > < 6 mètres >

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16								
60	77	77	77	78	77	77	77	60	77	77	77	78	77	77	77	60	77	77	77	78	77	77	77	60
								1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	13	15	16

< 6 mètres > < 12 mètres >

En Thessalie, on a posé les rails de $6^m,44$ de longueur sur 9 traverses, suivant les dispositions ci-dessous :

< Rail de 6^m44 >

0,25	0,72	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,72	0,25

Les joints sont en porte-à-faux et concordants aussi bien dans les alignements droits, que dans les courbes de 450 mètres de rayon et au-delà.

Les joints sont au contraire posés sur traverses, dans les courbes de rayon variant entre 175 mètres et 450 mètres.

Au-dessous de 175 mètres, la pose a été faite à joints croisés, soit avec chevauchement des joints à mi-rail, et le nombre des traverses a été porté à 10 par longueur de $6^m,44$ de rail, mais pour raccorder cette pose avec la pose normale à joints concordants, on a employé, aux deux extrémités, de ces courbes des rails courts de $3^m,22$ de longueur, placés dans la file intérieure de la courbe.

L'écartement des traverses est ainsi réparti :

<				Rail de 6^m44						><				Rail de 6^m44						>	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		File extérieure
50	68	68	68	68	50	68	68	68	68	50	68	68	68	68	50	68	68	68	68	50	
<		3^m22			><				6^m44						><		3^m22			>	File intérieure

237. — Largeur des joints. — Les rails exposés aux variations de température changent de longueur d'une manière pour ainsi dire permanente ; il faut donc leur laisser la liberté de se contracter et de se dilater pour qu'il n'y ait point refoulement des rails quand ils s'allongent, tout en maintenant la continuité de la voie quand ils se raccourcissent. On obtient ce résultat en intercalant entre les abouts des rails, au moment de la pose, des plaquettes d'acier d'une épaisseur variable avec la température de l'atmosphère.

Dans un climat tempéré, avec des longueurs de rails de 5 à 6 mètres, on peut se contenter d'employer trois épaisseurs de plaquettes, correspondant aux indications du thermomètre, d'après la règle suivante :

de 0° à 5°	0^m003
5° à 20°	0 ,002
20° à 40°	0 ,001

En Suisse et dans le nord de l'Europe, les variations de température étant plus considérables, on a réglé les joints au moyen de 4 à 5 jeux de plaquettes ainsi divisés :

SUISSE

Température + 37°	0^m0010
— + 25°	0 ,0021
— + 12°	0 ,0030
— 0°	0 ,0039
— — 12°	0 ,0048

HANOVRE

En été, à midi et au soleil	0m002
En été, le soir et le matin	0,003
Au printemps et à l'automne	0,005
En hiver	0,006

Fig. 292. — Cale ou plaquette pour régler la largeur des joints (1/4).

Chaque plaquette porte en creux l'indication de son épaisseur. La fig. 292 représente une plaquette ayant 0m,003 d'épaisseur.

Mais il convient de tenir compte de la longueur des barres, en admettant que le raccourcissement ou l'allongement soit de 0m,00063 par mètre, pour un écart de température de 50°, la Compagnie de l'Ouest français a fixé ainsi l'ouverture des joints de rails de 12 mètres de longueur :

Pour une température	de 10° à 0°			0m008
— —	de 0° à 10°	au-dessus de	zéro	0,006
— —	de 10° à 20°	—	—	0,005
— —	de 20° à 30°	—	—	0,004
Au-dessus	de 30°	—	—	0,003

En Grèce, la différence des températures extrêmes varie de — 10° à + 45° centigrades à l'ombre, on a admis pour les chemins de fer de la Thessalie que la température des rails pouvait être comprise entre — 10° et + 65° c.

L'allongement possible par mètre courant pouvait ainsi atteindre 0m,0009, — et pour 6m,44, 0m,006.

Le jeu à laisser aux joints a été fixé ainsi qu'il suit :

Jusqu'à la température	de 10°	au-dessous	de	zéro	0m007
— —	de 5°	—	—	. . . .	0,006
— —	de 0°			. . . .	0,005
— —	de 15°	au-dessus	de	zéro	0,004
— —	de 25°	—	—	. . . .	0,003
— —	de 35°	—	—	. . . .	0,002
— —	de 45°	—	—	et plus . .	0,001

238. — Voie dans les courbes. — Quelque soit le mode adopté pour assurer la solidarité des rails aux joints, la solution de continuité est toujours un point faible, et la pression des boudins des roues contre le rail tend à rejeter la voie vers l'extérieur.

Pour éviter le déplacement latéral des voies dans les courbes de petit rayon, quelques chemins, comme Altona-Kiel, Bebra-Hanau, Brunswick, Hanovre, Leipsig-Dresde, Oldenburg, Varsovie-Vienne, posent les rails avec joints croisés, c'est-à-dire les joints d'une file correspondant au milieu des rails de l'autre fille. Dans ce cas, l'une des files de rails est terminée, au commencement et à la fin des courbes, par un rail dont la longueur est moitié

de la longueur ordinaire. En appliquant le même procédé, d'autres lignes augmentent le nombre des traverses dans les courbes de petit rayon. Sur les alignements droits et dans les courbes de grand rayon, parcourus avec grande vitesse, on reproche aux joints croisés de donner aux véhicules des mouvements d'oscillation dont l'amplitude croît avec la vitesse de parcours. — Aussi, généralement on place les joints en regard les uns des autres. Dans les alignements droits, il faut toujours avoir soin de poser les joints correspondants, ainsi que les traverses, sur une ligne perpendiculaire à l'axe ; sans cette précaution, la direction oblique d'une traverse pourrait causer un rétrécissement de la voie.

Dans les alignements courbes, on parvient à disposer les traverses normalement à l'axe de la ligne, en intercalant dans la file intérieure un certain nombre de rails raccourcis, nombre qui varie avec le rayon de la courbe.

Si R est le rayon, L la longueur d'un rail, a la demi-largeur de la voie, d, la différence des longueurs du rail extérieur et du rail intérieur (L-l), on peut établir la proportion

$$\frac{L}{l} = \frac{R + a}{R - a}$$

d'où l'on tire :

$$\frac{L - l}{L} = \frac{2a}{R + a} \quad \text{et par suite } d = \frac{2aL}{R + a}$$

Pour éviter l'inconvénient de raccourcir tous les rails de la file intérieure, quelques ingénieurs ont préféré n'en raccourcir qu'un petit nombre, mais en diminuant leur longueur de tout l'espace qui sépare deux trous de boulons d'éclisses. Le nombre de rails à raccourcir dans ce cas est donné par la formule $n = \frac{e}{d}$ dans laquelle e représente la différence des longueurs de la courbe intérieure et de la courbe extérieure, et d la distance entre les centres des deux trous de boulons d'éclisses.

Nécessairement, dans les courbes ainsi construites, on n'a que $\frac{e}{d}$ traverses de joint normales à l'axe, mais la surlargeur donnée à la voie compense un peu les rétrécissements partiels que peut causer l'obliquité des autres traverses de joint.

Les chemins de fer français ont adopté la méthode suivante : Les traités stipulent toujours la livraison de rails courts d'une longueur fixe, dans une proportion déterminée. Ces rails se subdivisent en deux catégories : la première comprend les rails coupés suivant une longueur correspondante à la longueur normale diminuée d'une ou de deux portées, et qui proviennent de barres aux extrémités défectueuses (172) ; la seconde se compose de rails approchant très près de la longueur normale et destinés à entrer dans la file

intérieure des courbes. Pour 6 mètres de longueur normale, ces rails courts ont $5^m,96$. Ne sont pas compris dans ces deux catégories les rails de longueurs exceptionnelles employés pour les poses spéciales (220).

D'après ces données, on a dressé le tableau suivant :

RAYON de la courbe	LONGUEUR de rail intérieur correspondant à une longueur de 6 mètres de rail extérieur	DIFFÉRENCE entre le rail de 6 mètres extérieur et le rail intérieur correspondant	NOMBRE de rails de 6 mèt. à employer à l'extérieur pour un rail de 5m96 à l'intérieur	NOMBRES ENTIERS réglant l'emploi du rail de 5m96	
				Nombre de rails de 6 mètres à l'extérieur	Nombre de rails de 5m96 à l'intérieur
1	2	3	4	5	6
m.	m.	m/m			
100	5.9106	89.4	» (1)	»	»
150	5.9433	59.7	»	»	»
200	5.9551	44.9	»	»	»
250	5.9641	35.9	1.114	11	10
300	5.9760	30.0	1.333	13	10
350	5.9743	25.7	1.556	31	20
400	5.9775	22.5	1.778	9	5
500	5.9820	18.0	2.222	11	5
600	5.9850	15.0	2.667	27	10
700	5.9871	12.9	3.101	31	10
800	5.9875	12.5	3.200	16	5
1.000	5.9910	9.0	4.444	22	5
1.100	5.9920	8.0	4.969	5	1
1.200	5.9925	7.5	5.333	53	10
1.300	5.9931	6.9	5.780	29	5
1.400	5.9936	6.4	6.220	31	5
1.500	5.9940	6.0	6.667	67	10
1.800	5.9950	5.0	8.000	8	1
2.000	5.9955	4.5	8.889	89	10
2.500	5.9964	3.6	11.111	111	10
3.000	5.9970	3.0	11.333	133	10

(1) Pour ces rayons, il faudrait adopter des rails de 5m90.

A l'aide de ce tableau, on peut régler, pour chaque courbe, le nombre de rails de $5^m,96$ qu'il faut intercaler dans les rails de 6 mètres de la ligne intérieure, afin de conserver aux traverses de joint une direction sensiblement normale à l'axe. Si le développement des courbes ne comporte pas la proportion des nombres de rails longs et courts indiqués dans les colonnes 5 et 6 ou s'en rapproche le plus possible, sauf à laisser avancer un rail de $5^m,96$ sur l'alignement droit et à regagner, dans la largeur d'un certain nombre de joints de cet alignement, la différence de longueur d'un cours de rails sur l'autre.

Avec ses rails de 12 mètres, la Compagnie de l'Ouest rachète la différence de longueur des deux files de rails, en employant des rails de 11^{m},91, conformément au tableau ci-dessous :

RAYON de la courbe	RAPPORT entre le nombre de rails de 11^{m},910 à l'intérieur de la courbe, et le nombre de rails de 12^{m},00 à l'extérieur		NOMBRE			RÉPARTITION DES RAILS de 11^{m},910 pour les différentes courbes	Nombre par kilomètre de courbe de rails de 11^{m},910
	Fraction réelle	Fraction approchée	de rails de 12^{m},00 à l'extérieur de la courbe	à l'intérieur de la courbe, de rails de 12^{m},00	à l'intérieur de la courbe, de rails de 11^{m},910	Les chiffres sans aucun signe indiquent les nombres de rails de 12^{m}00 se suivant sur la file intérieure. Les chiffres entre parenthèses se rapportent aux rails de 11^{m}910 intercalés entre ceux de 12^{m}00. L'ensemble des chiffres d'une même ligne horizontale représente une série de rails dont le joint extrême est exactement ou sensiblement sur la même normale à la courbe que le joint correspondant de la file extérieure. La file intérieure devra se composer de séries semblables placées à la suite les unes des autres.	
m. 200	1.00420	1/1	1	»	1	(1) (1) (1), etc.	83
250	0.80397	4/5	5	1	4	(2) 1 (2)	67
300	0.67031	2/3	3	1	2	(1) 1 (1)	55
350	0.57475	7/12	12	5	7	(2) 1 (1) 1 (1) 2 (1) 1 (2)	49
400	0.50305	1/2	2	1	1	(1) 1	42
450	0.44725	5/11	11	6	5	1 (1) 1 (1) 1 (1) 1 (1) 1 (1) 1	38
500	0.40259	2/5	5	3	2	1 (1) 1 (1) 1	33
600	0.33557	1/3	3	2	1	1 (1) 1	28
700	0.28769	2/7	7	5	2	2 (1) 1 (1) 2	24
800	0.25176	1/4	4	3	1	2 (1) 1	21
900	0.22381	2/9	9	7	2	2 (1) 3 (1) 2	18
1000	0.20144	1/5	5	4	1	2 (1) 2	17
1100	0.18314	2/11	11	9	2	3 (1) 3 (1) 3	15
1200	0.16789	1/6	6	5	1	3 (1) 2	14
1300	0.15498	2/13	13	11	2	4 (1) 3 (1) 4	13
1400	0.14392	1/7	7	6	1	3 (1) 3	12
1500	0.13433	2/15	15	13	2	4 (1) 5 (1) 4	11
1600	0.12594	1/8	8	7	1	4 (1) 3	10
1700	0.11853	2/17	17	15	2	5 (1) 5 (1) 5	10
1800	0.11195	1/9	9	8	1	4 (1) 4	9
1900	0.10606	2/19	19	17	2	6 (1) 5 (1) 6	9
2000	0.10076	1/10	10	9	1	4 (1) 5	8
2500	0.08161	2/25	25	23	2	6 (1) 12 (1) 5	7
3000	0.06718	1/15	15	14	1	8 (1) 6	6

239. — Surhaussement du rail extérieur ou dévers. — Dans les alignements droits, le plan tangent aux surfaces de raccordement des rails de la même voie doit être perpendiculaire au plan vertical passant par l'axe de la ligne. Néanmoins, pour prévenir l'effet des tassements sur les remblais fraîchement exécutés dépassant $1^m,50$ de hauteur, on surhausse par le bourrage des traverses le rail extérieur de $0^m,005$ à $0^m,020$. selon la hauteur du remblai. Cette disposition est de beaucoup préférable à l'exhaussement des arêtes des remblais dont nous avons parlé à propos de la construction des terrassements.

On sait qu'on obvie également à l'effet des tassements des remblais en les établissant avec une surlargeur de couronne (fig. 293), calculée d'après le foisonnement des déblais et la hauteur du remblai (15 et 16).

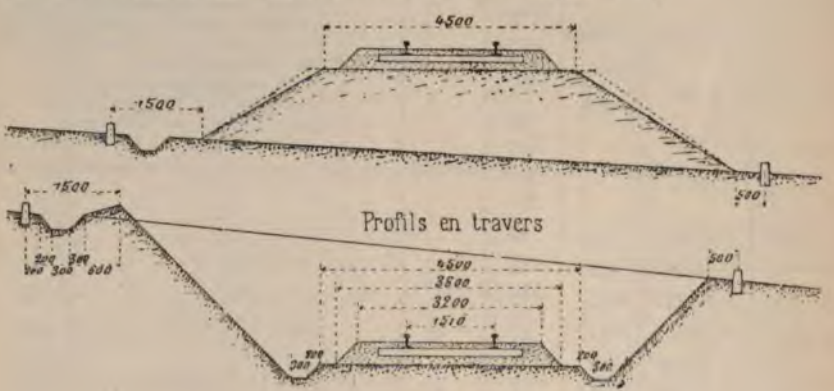


Fig. 293. — Profils en travers.

Lorsque la plate-forme a pris son assiette, il faut poser et régler la voie à la manière ordinaire.

Dans les courbes le plan tangent aux champignons des rails ne peut plus être normal à la surface cylindrique verticale qui passe par l'axe de la ligne; il faut le placer obliquement par rapport à cette surface cylindrique. Voici pourquoi :

Un corps en mouvement tend, en vertu de la vitesse acquise à conserver invariablement le plan dans lequel s'effectue le mouvement (¹). Aussi, quand un véhicule parcourt un alignement droit, il suit une marche parfaitement rectiligne, si la voie n'a pas d'irrégularités, et si les bandages portent exactement le même diamètre à la surface de roulement.

(1) Communication de Foucault à l'Académie des sciences, en février 1851, sur le pendule du Panthéon, et en septembre 1852 sur le gyroscope.

Lorsque ce véhicule animé d'une certaine vitesse entre dans une courbe, il tend à suivre la direction rectiligne imprimée par le mouvement acquis; s'il n'est pas ramené vers l'intérieur de la courbe par quelques dispositions spéciales, les boudins des bandages sont insuffisants pour le maintenir sur la voie, il déraille.

Ces dispositions consistent, on le sait, dans la conicité des bandages et dans le surhaussement du rail extérieur.

La conicité corrige, en partie, l'influence du parallélisme des essieux et la différence de longueur des chemins parcourus par les roues d'un même essieu.

Quant au surhaussement du rail extérieur, il a pour but d'opposer l'action de la pesanteur à l'effort que développe le véhicule pour conserver son plan de mouvement. Dans ce qui va suivre, nous entendrons par dévers le surhaussement par mètre de largeur de voie.

Pendant longtemps, on s'est contenté de considérer le véhicule circulant en courbe comme soumis uniquement à la force dite centrifuge, dont l'intensité est donnée par la formule générale $\frac{m\,v^2}{R}$, m étant la masse, v la vitesse du mobile exprimée en mètres par seconde, et R le rayon de la courbe.

Pour détruire l'effet de cette force, et sans tenir compte du frottement, on établit les rails suivant une surface inclinée vers le centre de la courbe d'une quantité telle, que cette surface soit normale à la résultante de la force centrifuge et de l'action de la pesanteur qui est représentée par le poids P du véhicule, multiplié par le rapport $\frac{h}{l}$, du surhaussement h du rail extérieur à la largeur l de la voie mesurée d'axe en axe des rails. Ce rapport $\frac{h}{l}$ porte le nom de dévers (on voit immédiatement que c'est seulement dans la voie ayant un écartement d'un mètre d'axe en axe des rails que le dévers peut être confondu avec le surhaussement).

On trouve la valeur du surhaussement h, en égalant ces deux efforts, et en remplaçant m par $\frac{P}{g}$, g représentant l'intensité de la pesanteur qui, à Paris, est égale à $9^m,809$.

$$h = \frac{lv^2}{g\,R} \qquad (1)$$

Or la vitesse kilométrique à l'heure étant désignée par V on a :

$$V = 3,6\ v$$

d'où on tire :

$$v^2 = \frac{V^2}{12,96}$$

Si nous remplaçons v^2 dans la formule (α) nous trouvons :

$$h = \frac{l\ V^2}{12{,}96\ g\ R} \qquad (\beta)$$

Sur cette hypothèse, on a calculé le tableau suivant dans lequel le surhaussement est indiqué en millimètres et les vitesses en kilomètres à l'heure.

RAYON de la COURBE	SURHAUSSEMENT DU RAIL EXTÉRIEUR POUR UNE VITESSE DE							
	30 k.	40 k.	50 k.	60 k.	70 k.	80 k.	90 k.	100 k.
	m/m	m/m	m/m	m/m	m/m	m/m	m/m	m/m
300	35	63	98	142	192	212	318	393
400	27	47	74	106	145	186	238	295
500	21	38	59	85	116	151	191	235
600	18	31	49	71	96	126	159	196
700	15	27	42	61	83	108	135	168
800	13	24	37	53	72	94	120	148
900	12	21	33	47	64	84	106	131
1000	11	20	29	42	58	76	96	118
1100	10	17	26	38	52	68	85	106
1200	9	16	25	35	48	63	80	98
1300	8	15	23	33	45	58	74	91
1400	8	14	21	30	41	54	68	89
1500	7	13	20	28	38	50	64	79
1800	6	11	16	24	32	42	53	66
2000	5	10	15	21	29	33	48	59
2500	4	8	12	17	23	30	38	47
3000	4	6	12	14	19	25	32	39

Évidemment les données de ce tableau ne sont applicables que dans certaines limites, le surhaussement à adopter devant correspondre à la vitesse des trains les plus rapides.

Ce tableau fait voir :

1° Que les grandes vitesses doivent être proscrites sur les courbes très fermées, car le surhaussement maximum que l'on peut admettre est $0^m,150$, correspondant à un dévers considérable, fatigant le rail intérieur, et cependant dépassé quelquefois en Amérique ;

2° Que pour les petites vitesses, le surhaussement doit être très faible ; on peut, par conséquent, le supprimer dans les points où tous les trains s'arrêtent.

Cependant des déraillements se produisent assez souvent dans les gares où les courbes sont très fermées, peut-être par défaut de conicité des bandages

ou de jeu dans les boîtes à graisse ou bien parce que la vitesse des trains est trop grande. On les évite en relevant le rail extérieur; au chemin de fer de l'Est, ce surhaussement ne dépasse jamais $0^m,050$ dans ce cas particulier.

En pratique, il faut poser des règles précises, afin de ne rien laisser à l'arbitraire des agents; on leur remet donc un tableau exact de la valeur des surhaussements dans les courbes en pleine voie.

Le tableau suivant donne les surhaussements appliqués sur des chemins de fer exécutés dans des conditions très différentes d'établissement et d'exploitation.

RAYON de la COURBE	OUEST FRANÇAIS	ÉTAT BAVAROIS	HANOVRE	CENTRAL SUISSE	STEIERDORF (AUTRICHE)	MIDI FRANCE	CHARENTES FRANCE	ORLÉANS-CHALONS
m.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
114	»	»	»	»	95	»	»	»
133	»	»	»	»	81	»	»	»
152	»	»	»	»	71	»	»	»
171	»	»	»	»	63	»	»	»
200	130	»	»	»	54	»	»	»
250	110	»	»	»	43	»	»	»
300	100	116	»	72	37	»	100	130
350	»	102	»	64	13	»	»	122
400	100	93	65	56	28	»	80	114
450	»	88	57	52	23	»	70	»
500	85	85	52	46	21	»	70	100
550	»	78	45	41	20	»	60	»
600	75	67	40	36	»	100	60	88
700	70	56	34	33	»	»	50	78
800	70	45	29	27	»	80	50	70
900	65	35	25	24	»	»	40	64
1000	65	27	22	21	»	60	40	60
1200	50	15	19	18	»	»	30	»
1500	40	»	17	12	»	40	30	40
1800	30	»	16	»	»	»	20	»
2000	30	»	15	»	»	30	20	30
2300	»	»	14	»	»	»	»	»
2500	20	»	13	»	»	25	»	»
2800	»	»	12	»	»	»	»	»
3000	15	»	11	»	»	20	»	»
3500	»	»	10	»	»	»	»	»
3750	»	»	8	»	»	»	»	»
4000	»	»	»	»	»	15	»	»
6000	»	»	»	»	»	10	»	»

Les instructions générales applicables aux grandes lignes comportent des amendements à mesure que les chemins de fer pénètrent dans les contrées plus accidentées, où les trains prennent par conséquent de moindres vitesses.

Ainsi, pour le réseau de l'Est français, sur les lignes où circulent des trains de grande vitesse, on donne le surhaussement correspondant à la formule (α) où $V = 18$ mètres.

Sur les lignes où circulent seulement des trains omnibus, on applique à la formule (α) $V = 14$ mètres.

Enfin, sur les courbes très fermées, qui se trouvent à l'entrée ou à la sortie des gares, le surhaussement est donné par la formule (α) calculée avec $V = 10$ mètres.

Les trains acquièrent une vitesse plus grande en descendant les pentes qu'en les remontant ; pour les lignes à deux voies, il est donc naturel de donner à la voie descendante un dévers plus prononcé qu'à la voie montante.

On modifie les valeurs données par la règle générale en tenant compte des points où les trains prennent habituellement une accélération ou un ralentissement marqué.

Nous avons dit plus haut que le dévers généralement adopté résultait de l'hypothèse que l'on n'avait à combattre que l'effet de la force centrifuge. Cependant, on a remarqué depuis quelques années, — et nous observons que le phénomène se manifeste principalement sur les lignes dirigées du Nord au Sud, — que le dévers ainsi calculé est notablement insuffisant. Cette insuffisance est-elle due à ce que l'on ne tient aucun compte de l'effort développé par la masse totale des véhicules et par les roues elles-mêmes, surtout les roues de machines, qui tendent à conserver leur mouvement dans leur plan de rotation, comme le tore dans le gyroscope de Foucault, ou enfin de l'influence du mouvement de rotation de la terre sur son axe, qui est, comme on sait, très marqué sur les fleuves sensiblement parallèles au méridien terrestre ?

Quoiqu'il en soit, l'expérience a engagé plusieurs administrations à renoncer aux indications de la formule établie sous la seule considération de la force centrifuge.

Ainsi, sur le chemin de Paris à la Méditerranée, l'expérience faisant abandonner l'emploi de cette formule, conduit à adopter la formule empirique $h = \frac{V}{R}$ (γ), dans laquelle V représente la vitesse des trains en kilomètres à l'heure, et R le rayon des courbes.

On a divisé le réseau de la Compagnie en quatre classes :

La première comprend les lignes à grands rayons de courbure parcourues par les trains de très grande vitesse : on y applique la formule (γ) en posant $V = 70$ kilomètres.

La seconde se rapporte aux chemins à courbes très ouvertes parcourues par les trains de grande vitesse : on y prend $V = 60$ kilomètres.

Dans la troisième se rangent les lignes à rayons moyens où les trains prennent une vitesse modérée : $V = 50$ kilomètres.

La quatrième, enfin, est affectée aux lignes à courbes très fermées, desservies par des trains de petite vitesse : $V = 40$ kilomètres.

Et cependant les surhaussements déduits de ces formules ne satisfont pas complètement la question, quand il s'agit de vitesses très faibles (1). Voici les valeurs du surhaussement appliqué sur les lignes secondaires du réseau d'Orléans, calculées d'après la formule :

$$h = \frac{45}{R}$$

Rayons	Surhaussements
300	$0^m,150$
350	0 ,130
400	0 ,112
500	0 ,090
600	0 ,075
700	0 ,064
800	0 ,056
1000	0 ,045
1200	0 ,037
1500	0 ,030
2000	0 ,022

Les Ingénieurs allemands contestent également à la formule de la force centrifuge son efficacité. Le Main-Weser-Bahn a fait de nombreuses expériences pour déterminer pratiquement la valeur exacte du dévers. On y a relevé successivement le rail extérieur des courbes, tant que le bord intérieur de ce rail blanchi à la craie dénotait un frottement du boudin des roues au passage des trains les plus rapides, et l'on s'est arrêté aux valeurs suivantes

(1) D'après une communication faite dans la séance de la Société des Ingénieurs civils du 5 avril 1867 par M. Nordling Ingénieur en chef du réseau central d'Orléans, pour empêcher les boudins de monter sur le rail extérieur d'une courbe provisoire de 175 mètres de rayon, on a du porter le surhaussement à $0^m,13$, tandis que la formule (β) ne donnait que 0^m, 040 et la formule (α) $0^m,003$.

du surélèvement, valeurs qui, depuis plusieurs années, donnent complète satisfaction au problème posé.

Ces valeurs ressortent d'une formule empirique dans laquelle n'intervient pas la vitesse, à tort, selon nous, quand il s'agit de plusieurs lignes à trafics différents.

Rayons	Surhaussements
300 mètres	$0^m,150$
450 »	0 ,135
600 »	0 ,120
750 »	0 ,105
900 »	0 ,090
1200 »	0 ,060
1500 »	0 ,030

Ces surélèvements sont de beaucoup supérieurs aux valeurs suivantes, adoptées par l'Est prussien qui se trouve dans des conditions géographiques différentes :

Rayons	Surhaussements
853 mètres	$0^m,052$
1130 »	0 ,039
1507 »	0 ,026
2260 »	0 ,018
3014 »	0 ,013

MM. Varroy et Bauer ont appliqué la formule suivante sur la ligne d'intérêt local d'Avricourt à Blamont et Cirey.

$$h = \frac{20 + 0{,}012\ V^2}{R} \qquad (\varphi)$$

Pour les vitesses supérieures à 52 kilomètres, cette formule est préférable à la formule employée par la Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée, mais elle donne des résultats à peu près semblables pour les vitesses comprises entre 32 et 52 kilomètres.

Pour les vitesses inférieures à 32 kilomètres, cette formule ainsi que celle de la Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée donnent des résultats exagérés.

Dans sa *Théorie du Mouvement en courbes sur les chemins de fer*, M. L. Pochet admet qu'il y a lieu d'ajouter au surhaussement théorique (α), un supplément dont la valeur serait représentée par :

$$s = \frac{l\,f}{1{,}6\ n'_e}$$

dans lequel :

l représente le demi-empattement des essieux ;

n le nombre d'essieux rigides ;

f le coefficient de frottement qu'on suppose égal à 0.02,

La formule de rehaussement serait donc d'après M. Pochet :

$$H = h + s = \frac{l v^2}{g R} + \frac{l f}{1,6\, n e}$$

ou bien si nous substituons à v la vitesse V correspondante par kilomètre et à l'heure d'après (β) nous obtenons :

$$H = \frac{l\, V^2}{12,96\, g\, R} + \frac{l f}{1,6\, n e}$$

d'où il vient :

$$H = l\left(\frac{V^2}{12,96\, g\, R} + \frac{f}{1,6\, n e}\right) \qquad (\xi)$$

Cette formule écrite comme suit :

$$H = l\left(\frac{V^2}{R} \times \frac{1}{12,96\, g} + \frac{f}{1,6\, n e}\right)$$

permet de remarquer que, pour une largeur de voie déterminée, le supplément constant dont les éléments dépendent exclusivement du matériel roulant invariable pour une ligne considérée, a d'autant moins d'influence sur la valeur de H que le rayon R de la courbe est plus petit et V plus grand, d'où il suit que le surhaussement théorique (α) ne se trouve pas exagéré par l'addition de s, et que cette formule paraît convenir tout particulièrement pour les lignes à faible rayon.

Par contre, pour de grands rayons, cette formule donne un surhaussement trop élevé.

Aux chemins de fer de Thessalie, on a employé la formule (φ) de MM. Varroy et Bauer pour les rayons supérieurs à 370 mètres, et la formule de M. Pochet (ξ) pour les rayons inférieurs.

Le tableau ci-dessous donne les valeurs du dévers (qui se trouve être ici égal au surhaussement), calculées suivant ces deux formules :

	RAYONS	SURHAUSSEMENT OU DÉVERS EN MILLIMÈTRES correspondant à des vitesses de :						
		30k	35k	40k	45k	50k	55k	60k
FORMULE POCHET	150	83	100	120	142	167	»	»
	175	76	91	108	127	149	»	»
	180	75	89	106	125	146	»	»
	200	71	84	99	116	135	»	»
	225	67	79	91	107	124	142	»
	250	64	75	86	100	115	131	149
	300	60	68	78	89	102	116	131
	350	56	64	72	82	92	104	117
FORMULE VARROY ET BAUER	400	51	57	65	73	83	92	104
	450	45	51	57,5	65	73	82	92
	500	41	46	52	59	66	74	83
	600	34	38	43	49	55	62	69
	700	29	33	37	42	47	53	60
	800	26	29	32	37	41	46	52
	900	24	26	29	33	37	41	46
	1000	20	23	26	29	33	37	42
	1500	14	15	17	20	22	25	28
	2000	10	11	13	15	17	19	21
	3000	7	8	9	10	11	12	14

Notons que le maximum du dévers appliqué sur les lignes de Thessalie a été fixé à 85 millimètres, en vue d'assurer aux machines, circulant sur des pentes de 25 et 30 millimètres, une épaisseur d'eau suffisante sur le ciel du foyer (3me partie).

En Grèce, la mission française a adopté pour la ligne de Myli Kalamata les chiffres suivants :

(*Largeur de voie : 1 mètre*).

RAYON	DÉVERS	RAYON	DÉVERS
140m	0m,110	350m	0m,057
150	0 ,100	400	0 ,052
160	0 ,095	450	0 ,046
170	0 ,094	500	0 ,044
180	0 ,093	550	0 ,040
190	0 ,088	600	0 ,038
200	0 ,080	800	0 ,030
210	0 ,076	900	0 ,026
230	0 ,073	1000	0 ,024
250	0 ,072	1200	0 ,020
270	0 ,067	1400	0 ,015
290	0 ,062	2000	0 ,010
300	0 ,060	4000	0 ,005

On remarquera que les différences considérables qui existent entre ces diverses formules destinées à l'application d'une mesure universellement reconnue comme indispensable pour la sécurité de la circulation et l'entretien économique du matériel fixe et roulant, démontrent que la question du dévers demande une étude théorique plus complète, ainsi que des expériences concluantes dans lesquelles on analysera l'influence de toutes les forces en jeu.

240. — Raccordement des alignements : 1° *En élévation.* — D'après ce que nous avons dit, la différence de niveau entre le rail extérieur et le rail intérieur peut atteindre au moins $0^m,150$. Pour passer du plan horizontal sur lequel roulent les véhicules en alignement droit, au plan oblique sur lequel ils circulent en courbe, il faut, dans l'intérêt de la sécurité, du confort des voyageurs et de la conservation du matériel, ménager une transition.

On résout cette question de plusieurs manières. Tantôt en sacrifiant le dévers sur une partie de la courbe, on ne donne le surhaussement que graduellement, à partir du point de tangence : solution peu conforme aux conditions de stabilité. Tantôt on pose en dévers la partie de l'alignement droit qui précède le point de tangence, de manière à obtenir le dévers complet à l'entrée même de la courbe. Pour les courbes très fermées, cette dernière solution n'est qu'à moitié satisfaisante et applicable seulement là où les courbes sont très rapprochées les unes des autres. Dans tous les autres cas, le second système est préférable, car il n'a d'autre inconvénient que de placer les véhicules dans une position légèrement inclinée sur la partie du raccordement et sur une longueur relativement faible.

Cette longueur dépend du degré d'inclinaison adopté pour ce raccordement. Il est généralement compris entre $0^m,001$ et $0^m,003$. Ainsi pour un dévers de $0^m,100$, la longueur de la file de rails en alignement droit à relever serait de 100 mètres dans le premier cas, de 33 mètres dans le second.

Quelques ingénieurs font disparaître le dévers au point de tangence, à la sortie des courbes des lignes à deux voies; mais cette disposition ne paraît pas convenir au cas où, pour une cause quelconque, l'une des voies devrait être parcourue dans les deux sens.

Sur la ligne de Toulouse, où circulent des trains de marchandises montant avec une vitesse de 15 kilomètres 1/2 à l'heure, tandis que les trains de voyageurs circulent à la descente à une vitesse de plus de 90 kilomètres à l'heure, la Compagnie d'Orléans a établi comme règle que quelle que soit l'importance du surhaussement dans les courbes qui peuvent n'avoir que

300 mètres de rayon, la pente de raccordement ne dépasserait jamais $0^m,002$ par mètre et que le surhaussement total devrait être obtenu au point de tangence de la courbe et de l'alignement droit ; ces deux conditions présentent certaines difficultés à être réalisées dans la pratique, dans ce cas on sacrifie la dernière.

2° *Raccordement des alignements en plan.* — Le dévers donné sur l'alignement droit a pour effet de reporter les essieux vers la file intérieure des rails et par suite d'écarter les boudins des bandages de la file extérieure, au moment où le véhicule entre dans la courbe. L'élargissement de la voie reportée vers le centre de courbure, contribue encore à produire ce résultat, et par conséquent à diminuer le choc éprouvé par le véhicule lorsqu'il doit changer sa direction rectiligne pour prendre le mouvement curviligne.

Quelques ingénieurs ont pensé, entre autres MM. Pressel (1), Wessbach (2), en Allemagne, MM. Chavès (3) et Nordling (4) en France, que le raccordement en élévation pourrait être combiné avec un raccordement en plan disposé pour ménager une transition encore plus favorable entre les deux directions. Partant de la formule du dévers donné par la force centrifuge, ils se sont imposés la condition de donner à la projection horizontale de chaque élément du raccordement en élévation, une courbure passant successivement du rayon infini au rayon de la courbe à raccorder. On est ainsi arrivé, après plusieurs simplifications, à une formule du troisième degré, qui représente la courbe à construire.

Mais la formule qui repose sur la considération de la force centrifuge étant insuffisante, il y a lieu de supposer que les conséquences tirées de son emploi ne répondent pas complètement au but proposé.

Comme exemple, nous citerons les règles suivantes, qui ont été établies par la Mission Française, pour la construction de la ligne de Myli-Kalamata.

« Le surhaussement sera obtenu par une dénivellation relative des deux rails en abaissant l'un et élevant l'autre de la moitié du surhaussement total. La transition sera ménagée aux deux extrémités par des paraboles prises, moitié sur la tangente, moitié sur la courbe. Sur ces paraboles sont réparties uniformément les pentes ou rampes préparant le surhaussement ; ces pentes et rampes varieront de 0,0019 à 0,0024. Le surécartement sera de même uniformément réparti sur la longueur de la parabole de raccordement, en

(1) Eisenbahnzeitung. Stuggard, 1854.
(2) Der ingénieur Brunswick. 1863.
(3) Société des Ingénieurs civils de France, 1865.
(4) id. id. 1867.

laissant le rail extérieur dans sa position normale, et en rapprochant le rail intérieur vers le centre d'une longueur égale au surécartement prescrit.

« Les paraboles de raccordement seront tracées en appliquant les formules ci-après, dans lesquelles les abscisses sont comptées sur la tangente à partir de l'origine de raccordement ; l indique la longueur du raccordement, u le surhaussement total, et i la pente préparant le surhaussement ».

RAYON R	PARABOLE $y = \frac{X^3}{6.l.R}$	LONGUEUR comptée moitié sur la tangente moitié sur la courbe l	PENTE préparant le surhaussement i	DÉVIATION du tracé vers l'intérieur u
140 à 250	$y = \frac{X^3}{25\,200}$	$l = \frac{25\,200}{6\ R}$	$i = \frac{2\ l}{u}$	
250 à 350	$y = \frac{X^3}{27\,000}$	$l = \frac{27\,000}{6\ R}$	$i = \frac{2\ l}{u}$	$\frac{l^2}{2.u.R}$
350 à 1000	$y = \frac{X^3}{30\,000}$	$l = \frac{30\,000}{6\ R}$	$i = \frac{2\ l}{u}$	

Les raccordements paraboliques entre les alignements droits et les courbes conduisent à des complications de travail pour la construction et l'entretien sans que le résultat pratique qui résulte de leur emploi soit bien en rapport avec les avantages recherchés.

Dailleurs, l'écart entre l'arc de cercle et la courbe théorique qui permettrait de passer de la ligne droite à la circonférence sans changement brusque de courbure est assez faible pour que dans la pratique il ne paraisse pas devoir être souvent respecté, et on laisse généralement aux chefs d'équipe expérimentés le soin d'adoucir le raccordement des courbes et des alignements droits.

Quoiqu'il en soit, plusieurs administrations : Main-Weser, Tilsitt-Insterburg, Est Prussien, Sud de l'Autriche, Nord Français, Réseau central d'Orléans, etc., ont approuvé les dispositions précédentes.

241. — Mode d'application du dévers. — Le surhaussement du rail extérieur est fixé et vérifié au moyen de la règle représentée par la figure 294, l'horizontalité des faces planes de cette règle étant indiquée par un niveau à bulle d'air que l'on applique sur la plaque qui recouvre le rail à surhausser.

Les surhaussements portés aux tableaux qui précèdent doivent être réduits

de moitié environ dans les courbes voisines des stations, en raison du ralentissement des trains en ces points.

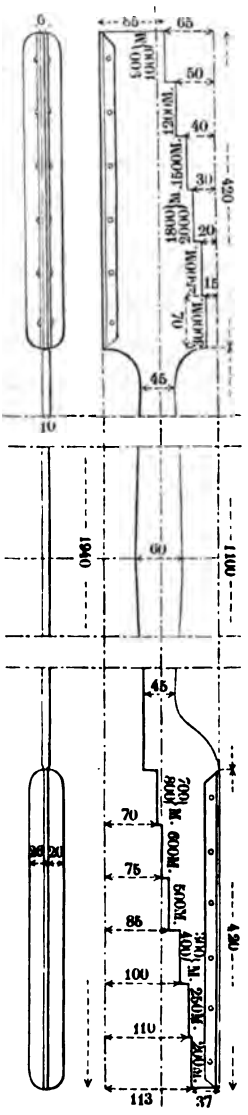


Fig. 294. — Règle de surhaussement. (1/10.)

Le dévers sera l'objet des soins assidus des agents de la voie.

Pour en assurer le maintien, il est bon de placer sur l'accotement deux repères qui fixent l'un le niveau du rail intérieur, l'autre celui du rail extérieur. Ces deux repères donnant bien exactement la différence de hauteur des deux files de rails, permettent d'en faire la vérification en toute circonstance, même dans le cas de tassement de la plate-forme de la ligne. Sur plusieurs chemins, le dévers est marqué en chiffres peints à l'huile sur un tableau placé à l'entrée et à la sortie de chaque courbe. Ce tableau a la forme ci-dessous :

R = 750 mètres L = 1^m445 D = 0^m040

Dans lequel R indique le rayon de la courbe, L l'écartement intérieur des rails, en tenant compte de l'élargissement, et D le dévers.

Au chemin de fer de l'Est, on marque le commencement et la fin de chaque courbe par un poteau saillant de $1^m,10$ au-dessus de terre et portant une planchette de $0^m,35$ sur $0^m,35$, avec les inscriptions suivantes : le rayon, le développement de la courbe et le surhaussement, du rail extérieur.

Quand on est conduit à donner des dévers différents aux rails intérieurs des deux voies, on indique l'un au-dessus de l'autre le surhaussement de la voie paire et celui de la voie impaire ; par exemple :

$$D.1 = 62^m/^m$$
$$D.2 = 39^m/^m$$

Nous devons rappeler ici l'observation qui a déjà été faite (48), au sujet des tunnels et ouvrages d'art, dont les parois pourraient être rencontrées par

les corniches ou les lanternes de véhicules parcourant des courbes dont le rail extérieur est surhaussé. Il peut y avoir lieu, en projetant un tunnel courbe, de déplacer soit l'axe de la voie, soit l'axe du tunnel, ou de modifier son profil. S'il s'agit de poser la voie dans un tunnel déjà construit, il faudra étudier l'influence du dévers sur les véhicules et déterminer la direction de l'axe de la voie en conséquence.

Nous reviendrons encore sur cette question en parlant du relevage de la voie, (257-258).

242. — Elargissement de la voie. — La largeur normale de la voie est fixée, comme nous l'avons dit, de concert entre les services des travaux et du matériel. Un accord semblable est de rigueur pour déterminer la surlargeur à donner à la voie dans les courbes de faible rayon, surlargeur nécessaire pour éviter les frottements des boudins des roues contre les rails.

Cet élargissement dépend de plusieurs données qu'il s'agit de combiner pour chaque cas particulier. Ces données sont :

— L'écartement des essieux extrêmes des véhicules ;
— Le diamètre des roues ;
— La largeur et la conicité des bandages ;
— La distance de calage des roues montées ;
— Le jeu des essieux dans les plaques de garde ;

En traçant des courbes avec une échelle suffisante, et en y rapportant la position prise par un train de véhicule dans le parcours, on peut se rendre compte du jeu qu'il est nécessaire de laisser entre le boudin et le rail. Si, pour simplifier la question, on veut faire abstraction de la majeure partie des données du problème, il suffit de calculer la flèche d'un arc de cercle de rayon déterminé, dont la corde représenterait la ligne droite passant par les points de contact des rails et des boudins des roues extrêmes des véhicules, ligne qui représente la plus grande base rigide du train.

C'est ainsi que l'on trouve, pour différents rayons de courbure, les valeurs de flèche renfermées dans le tableau ci-dessous :

RAYONS DES ARCS	FLÈCHES correspondant aux longueurs des arcs sous-tendus de		
	3m	4m	5m
	mm	mm	mm
150m	7,6	12,4	20,9
300	3,9	6,7	10,5
400	2,9	5,0	8,8
500	2,3	4,0	6,3
600	1,9	3,4	5,3
700	1,6	2,9	4,5
800	1,4	2,5	3,9
900	1,3	2,3	3,5

Au chemin de fer de l'Est, la largeur normale de 1m,447 entre rails laisse aux roues d'un même essieu un jeu latéral de 0m;035 pour les vagons, et 0m,032 pour les locomotives, quand les roues et les rails sont au profil normal. Ce jeu est nécessaire pour éviter les frottements des rebords des roues contre les rails. En raison de la conicité des bandages égale à $\frac{1}{20}$, ce jeu correspond à une différence possible de 0m,00175 pour les vagons et de 0m,0016 pour les locomotives, entre les rayons de roulement des roues d'un même essieu. Pour les roues de vagon de 1m,03 de diamètre au roulement moyen, la différence de 0m,00175 entre les deux rayons permettrait aux deux roues de parcourir sans glissement une voie en courbe de 444 de rayon minimum

Le jeu indiqué plus haut suffirait donc pour toutes les courbes de rayon plus grand, en ne considérant qu'un seul essieu et des roues de 1m,03 de diamètre.

Dans les courbes de petit rayon, la largeur de la voie est augmentée de 0m,010, dans les courbes de 400 mètres à 350 mètres de rayon, et de 0m,020 dans les courbes de 300 mètres à 150 mètres de rayon.

Sur plusieurs chemins, on conserve la largeur normale aux points de tangence des courbes ; la surlargeur totale ne s'obtient qu'après trois ou quatre longueurs de rails ; cette disposition n'est pas bonne, car la surlargeur est immédiatement nécessaire à l'entrée comme nous l'avons dit. Il faudrait donc que la surlargeur commençât sur les premiers rails de l'alignement droit précédant la courbe, en la répartissant insensiblement à raison de 1 millimètre pour 1 mètre, ce qui faciliterait encore l'entrée en courbe en ramenant ainsi les roues vers le centre de courbure par l'effet de la conicité.

L'élargissement s'applique successivement par le déplacement de la file intérieure, le rail extérieur conservant sa direction normale.

Tableaux des surlargeurs adoptées sur divers chemins de fer

RAYONS des courbes	SURLARGEURS DONNÉES SUR LES CHEMINS							
	Nord français	Central suisse	Hanovre	État bavarois	Est français	Midi français	VOIE DE 1 MÈTRE Thessalie	VOIE DE 1 MÈTRE Myli Kalamata
mètres	millim.	millim.	millim.	millim.	millim.	millim.	millim.	millim.
125	»	»	»	»	»	»	30	»
140	»	»	»	»	»	»	25	20
150	20	»	»	»		»	20	
175	»	»	»	»		»	15	15
180								
200	»	»	»	»	20	»	10	
240								
250	»	»	»	»		20	5	10
280								
300	»	15	»	21		10	0	
360	»	12	»	18	10	5	—	0
400	»	»	18	15				
450	5	9	16	12	0	»		
500	—	»	14	»	—	1		
550		»	12	9		—		
600		6	10	»				
650		»	8	7				
700		»	6	»				
800		»	—	6				
900		3		2				

Quand on prend un parti relatif à l'élargissement de la voie dans les courbes, il faut tenir compte de l'écartement des roues, du jeu laissé entre le boudin et le rail, et enfin, de la largeur des bandages, des vagons étrangers, comme des vagons appartenant à la ligne elle-même.

Sur la ligne de Steierdorf à Oravitza, destinée au transport des houilles, les vagons de transport ayant $2_m,529$ d'écartement d'essieux, on a dû limiter la surlargeur, même dans les courbes les plus raides, à $0^m,0316$ par suite d'insuffisance de largeur des bandages.

Enfin, certaines Compagnies, l'Ouest et le Paris-Lyon-Méditerranée, par exemple, repoussent toute surlargeur dans les courbes.

243. — Changements d'inclinaison. — Pour ménager la transition entre les *pentes, rampes et paliers* qui se succèdent, on peut les raccorder entre eux de deux manières différentes :

En France, le raccordement s'opère au moyen d'un plan auquel on donne de 6 à 12 mètres de largeur pour chaque millimètre de différence de pente, le raccordement ayant lieu moitié en de çà, moitié au-delà du point d'intersection des deux plans.

En Allemagne et en Suisse, on a raccordé les changements de pente par une surface cylindrique dont la base est un cercle de 3.000 mètres de rayon. Pour chaque cas particulier, on dessine sur un profil en long, à l'échelle de $\frac{1}{150}$ pour les longueurs et de $\frac{1}{10}$ pour les hauteurs, la courbe directrice (de 3.000 mètres de rayon), qui doit être tangente aux deux surfaces à raccorder ; il suffit, pour la déterminer, d'en calculer trois ordonnées. Cette courbe étant tracée sur le dessin avec la position des abouts de rails donnée par le profil en long, on relève les différences de hauteurs trouvées ainsi entre les piquets du nivellement primitif de la courbe de passage. Ces différences sont rapportées sur le terrain au moyen d'un niveau.

D'une manière pratique, on procède à ces raccordements en donnant, à partir d'un point déterminé à chaque longueur de rail, une inclinaison constante l'une sur l'autre, de façon à ce que le dernier rail atteigne la déclivité de la rampe ou de la pente à raccorder avec un palier.

Soit i l'inclinaison de chaque rail,

n le nombre de rails,

On donnera au premier rail l'inclinaison i, au deuxième la déclivité $2\,i$, et le dernier rail aura ainsi une inclinaison correspondant à $n,\ i$.

La longueur des rails étant déterminée, on prend n plus ou moins grand suivant la vitesse des trains.

Ce raccordement entre deux pentes différentes ne doit pas être négligé en général, mais il faudrait surtout l'appliquer quand le profil de la ligne est accidenté, et que les différences d'inclinaison sont très marquées ; il prend alors une véritable importance. Sur certaines lignes en montagne, on rencontre fréquemment de fortes rampes succédant à un palier ; or, une locomotive de grand empattement, comme les machines à trois ou quatre essieux moteurs, se trouverait, pendant le passage, sans transition du palier à la rampe, suspendue pour ainsi dire sur les deux essieux extrêmes, dont les ressorts seraient ainsi fortement surchargés, tandis que les roues intermédiaires deviendraent pour ainsi dire folles, leur adhérence nulle, et ce préci-

sément au moment où l'on en a le plus besoin. Les rails de la voie n'en souffriraient pas moins.

L'effet inverse se reproduirait, mais d'une manière tout aussi fâcheuse, car il en résulterait un déraillement si une pente succédait brusquement et sans transition à une rampe.

Nous ne parlons point ici de la succession immédiate d'une rampe à une pente; *cette succession immédiate étant proscrite* d'une manière absolue en construction de chemin de fer. Un tel changement d'inclinaison doit être dans tous les cas, divisé par un palier d'une longueur égale au moins à celle des trains les plus chargés.

Cette longueur de palier est généralement fixée à 60 mètres pour la voie de $1^m,45$, et à 40 mètres pour la voie de 1 mètre.

244. — Moyens préventifs contre les dérangements de la voie. — Quelque bien étudiée que soit la construction de la voie, ses éléments ne conservent pas toujours la position assignée. Ainsi, sur certains points, les deux files de rails se déplacent à la fois transversalement ou longitudinalement; ailleurs, ils changent d'inclinaison en se rapprochant ou s'éloignant de l'axe de la voie; tantôt dans les courbes, le rail à patin se porte vers l'extérieur.

Glissement longitudinal des rails. — Dans les voies à coussinets toujours parcourues dans le même sens, les coins doivent être chassés sur les deux fils de rails, en pleine voie, dans le sens de la marche des trains ; aux abords des stations où les freins sont serrés et dans les fortes pentes sur lesquelles les rails glissent dans le sens de l'inclinaison, il faut chasser les coins dans la direction de la pente ou de la station.

Sur les lignes à voie unique, les coins doivent être chassés dans les deux directions à partir du milieu du rail, et non pas en sens inverse sur chaque file de rails, comme cela s'est pratiqué souvent, car il peut arriver que les traverses deviennent obliques par rapport à l'axe de la voie, quand il faut *diviser* les joints.

L'emploi des coussinets-éclisses combat le glissement des rails, surtout quand, munis d'une encoche au patin, ces coussinets sont fixés sur les traverses par les crampons ou les tire-fond entrant dans cette encoche.

On a observé sur les chemins de fer de l'Ouest que les files extérieures des deux voies glissent beaucoup plus que les files touchant l'entrevoie. On attribue cet effet à la mobilité du ballast en contact avec ces files extérieures et à

sa dessiccation, les coins devenant par là plus lâches. Les voies à ballast encaissé sont affranchies de ce défaut de résistance (146).

On parvient aussi à arrêter le glissement des rails à deux champignons en plaçant dans la tige du rail un goujon qui bute contre la joue du coussinet.

Pour les voies à rails à patin, on emploie divers moyens qui ont tous des inconvénients sans résoudre complètement la question.

Le chemin du Nord a fait chasser entre les abouts des rails, dans la traverse de joint, un clou dont la tête fait saillie et se loge entre les patins, mais ce clou s'use rapidement, et d'ailleurs il gêne la dilatation.

Nous avons indiqué les nouvelles dispositions adoptées par cette Compagnie.

Au chemin de fer de l'Est, on a entaillé le patin sur la demi-longueur de la plaque de joint dont les joues font arrêt. Ce procédé est bon, mais seulement sur les pentes faibles ; sur les fortes pentes, le rail pousse avec lui la traverse de joint.

Afin de répartir la résistance à l'entraînement, on arc-boute les rails sur un plus grand nombre de traverses. Plusieurs chemins, tels que celui d'Orléans, et d'autres en Allemagne, Portugal, pratiquent sur la largeur du rail un certain nombre d'encoches dans lesquelles se logent les crampons ou tire-fond qui préviennent le mouvement longitudinal des rails.

Le chemin de Lyon a percé en plein dans le patin le trou destiné à recevoir le crampon extérieur, ayant par cette disposition deux buts en vue : diminuer le bras de levier qui tend à soulever le crampon ; arrêter le mouvement de translation.

Les dispositions adoptées dernièrement par cette Compagnie par l'emploi de l'éclisse-cornière dont le patin est fixé aux traverses contre joint, présentent une meilleure solution.

Le chemin du Nord-Kaiser-Ferdinand a fixé des équerres en fer aux bouts des rails et les a fait buter contre la première traverse.

Les anciens procédés n'étaient nullement satisfaisants, et celui des encoches (en allemand Einklinkung) est le plus mauvais, car le patin finit par guillotiner l'attache, ou bien ce qui est plus grave, l'encoche provoque une rupture du rail, surtout si le rail est en acier.

Déplacement latéral de la voie. — Dans les courbes, les voies tendent quelquefois à se porter vers l'extérieur. On a proposé, pour arrêter ce déplacement, tantôt de croiser les joints des deux files de rails, tantôt de faire en-

caisser la voie entre des banquettes solides, tantôt de maintenir les traverses à l'aide de piquets chassés dans la plate-forme, tantôt de relier les deux voies entre elles par des entretoises, tantôt enfin, de poser la voie sur du ballast composé d'éléments durs, à arêtes vives, produisant un grand frottement contre les traverses.

De toutes ces dispositions, la dernière est la seule à utiliser ; combinée avec un dévers convenable, elle doit parfaitement suffire dans la plupart des cas.

Déplacement latéral des rails. — Sous l'action des boudins des roues de machines mal réglées, les attaches extérieures des rails se déversent en comprimant le bois, ou bien elles sont usées par le patin ; le patin des rails lui-même s'incruste aussi dans le bois. Quelques chemins, comme Altona-Kiel, opposent à cette tendance des crampons de section plus grande.

D'autres, comme Magdebourg-Leipsig, Halle-Cassel, l'Est français, ont augmenté le nombre des attaches à l'extérieur. Dans ce dernier chemin, on augmente le nombre de tire-fond à mesure que le rayon de la courbe diminue. Dans les courbes de 600 mètres, on place deux tire-fond supplémentaires par longueur de rail, et ce, sur la seconde traverse intermédiaire à partir de chaque joint.

Dans les courbes de 500 mètres de rayon, on emploie trois tire-fond supplémentaires répartis sur chaque traverse contre-joint et sur la traverse du milieu.

Dans les courbes de 400 mètres de rayon, il y a quatre tire-fond supplémentaires répartis sur la première et sur la deuxième traverse intermédiaire, à partir de chaque joint.

Enfin, dans les courbes de 300 mètres et au-dessus, on place un tire-fond supplémentaire sur chaque traverse intermédiaire.

La substitution de traverses en chêne ou en mélèze, à celles en pin ou en sapin, est certainement un bon procédé qui peut être suffisant sur des lignes où les machines ne sont pas très lourdes, et la vitesse peu considérable.

Sur le chemin de l'Est bavarois, on réunit les deux files de rails, dans les courbes roides par une entretoise en fer rond, boulonnée en dehors des deux rails, très bon moyen, mais coûteux ; on place deux boulons par largeur de rail de six mètres.

Les chemins du Hanovre, de Cologne-Minden, Saarbruck, sud de l'Autriche, etc., placent sous les rails des selles intermédiaires, comme au chemin de Lyon. Ces selles rendent les deux attaches du rail sur la traverse solidaires et par conséquent soulagent l'attache extérieure.

L'efficacité de cette plaque supplémentaire est évidente, car elle augmente la surface d'appui du rail sur la traverse.

Pour obvier à l'élargissement de la voie qui résulte du déversement ou déplacement latéral du rail extérieur, le chemin d'Altona-Kiel se sert de cales en bois qui étayent le rail contre le champignon en s'appuyant sur la traverse dans laquelle elles sont incrustées, comme les cales du système Barberot.

D'autres Compagnies se sont contentées d'augmenter le nombre des crampons ou tire-fond du côté extérieur de la voie.

Inclinaison des rails. — L'axe du profil des rails Vignoles, ou à double champignon, n'est pas perpendiculaire à la surface des traverses, il est toujours incliné d'une certaine quantité vers l'intérieur de la voie.

Dans le rail à double champignon, c'est le coussinet qui donne l'inclinaison voulue, dans le rail Vignoles, on entaille la traverse de façon que le patin du rail au lieu d'être horizontal prenne une inclinaison de 1/20 ou 1/16e.

L'inclinaison de 1/20e est généralement admise sur la voie normale, et l'inclinaison de 1/16e a été adoptée par certaines lignes à largeur de 1 mètre. Dans les courbes raides, où le dévers atteint un chiffre maximum, il convient encore d'augmenter cette inclinaison, du côté de la file intérieure des rails, afin que l'axe de ce dernier ne dépasse pas jamais la verticale.

La conicité des bandages correspondant à cette inclinaison, il s'en suit que la partie supérieure du boudin du rail est en contact avec la surface de roulement des bandages, et par suite dans les meilleures conditions pour une usure régulière du champignon.

Rétrécissement de la voie. — Sur certaines lignes très chargées de trafic et de vitesse, et cela, dans les alignements droits, les rails se déversent à l'intérieur par suite de la compression des bois ; leur inclinaison atteint quelquefois 1/10e, et l'on a des exemples de joints où la largeur de la voie est réduite de 0^m,015. Si l'on veut conserver une inclinaison uniforme dans tous les alignements, il n'y a d'autre remède à cette déformation, uniquement rencontrée sur les voies en rails à patin, que l'emploi de bois durs, de selles très larges ou de cales intérieures, comme celles du chemin d'Altona. Mais ce n'est qu'un palliatif : nous croyons que cette déformation indique un excès d'inclinaison des rails ou de charge des machines. Il n'y a, en effet, aucune raison pour donner aux rails la même inclinaison dans les alignements droits que dans les courbes. Sur les lignes très chargées, on

ferait donc bien d'essayer de diminuer l'inclinaison en la ramenant à 1/25e ou même 1/30e.

Avant d'adopter une inclinaison pour une voie déterminée, il convient de vérifier si la résultante des pressions exercées par les véhicules passe par l'axe du rail ou au contraire à certaine distance de cet axe. Dans ce dernier cas, il est évident que la pression supportée par la moitié du patin, correspondant à l'intérieur de la voie, tend à l'encaisser plus profondément dans la traverse et par suite à resserrer la voie.

245. — Pose de la voie en rails à deux champignons. — Pendant le répandage de la première couche de ballast, on amène les matériaux de la voie définitive correspondant à 200 mètres environ de longueur de voie.

Si la distance du dépôt au lieu de pose n'est pas grande, le transport peut en être fait avec des vagons-brouettes, poussés à bras d'hommes ; quand le dépôt est éloigné du chantier de pose, au-delà de 50 mètres par exemple, on trouve avantage à employer des chevaux. Enfin on utilise autant que possible les trains de ballastage remorqués par des chevaux ou des machines. Les matériaux sont déposés sur les accotements et avec assez d'avance pour que les brigades de poseurs ne soient jamais arrêtées par le manque de matériaux.

Les ateliers de pose peuvent être composés de diverses manières, suivant la rapidité que l'on veut imprimer au travail ; s'il n'est pas nécessaire de pousser activement la pose de la voie, il convient de partager l'opération de façon à utiliser autant que possible les mêmes ouvriers, en tirant ainsi le meilleur parti de leur expérience.

Lorsque le Chemin de fer du Nord, en 1857, posa la voie en rails à deux champignons, joints en porte-à-faux, il partagea le personnel en ateliers de vingt-quatre hommes divisés en trois brigades de huit hommes chacune, dont un chef d'équipe choisi parmi les meilleurs ouvriers exercés au travail de la pose. Quant aux ouvriers, ils peuvent être de simples manœuvres, mais on fera bien de les prendre parmi les ouvriers d'état, tels que charpentiers, charrons, forgerons, et en tous cas parmi les hommes les plus robustes.

L'outillage d'un atelier ainsi composé comprend :

24 pelles ;
24 pioches à bourrer (en fer) ;
1 masse en fer ;
8 grosses pinces ;
4 pinces à pied de biche ;
4 leviers ou anspects ;

4 chasse-coins ;
4 clefs à fourche pour écrous ;
10 cales ou plaquettes de joints de différentes épaisseurs ;
1 thermomètre ;
2 règles divisées, de la longueur des rails ;
2 gabarits d'écartement ;
2 niveaux à bulle d'air, en fonte ;
2 niveaux à fil-à-plomb d'au moins 1m,60;
2 grandes équerres de 1m,60 de branche ;
2 doubles mètres divisés ;
6 jalons ;
2 jeux de nivelettes ;
1 herminette.
2 vagons-brouettes ;
2 tarières.

L'axe de la ligne étant tracé en plan et en profil, il faut, si la ligne est à deux voies, fixer par des jalons l'axe de la voie à la distance de l'axe de la ligne adoptée par le plan de pose (143), (144), (145).

Alors on établit les nivelettes à pieux (fig. 295-B) à côté et dans l'alignement des deux coins des rails, en ayant soin de bien assurer la position des pieux par une fiche convenable, et en serrant les nivelettes à la hauteur voulue pour donner aux rails la cote déterminée d'après les piquets d'axe. Ces opérations donnent exactement la position des rails.

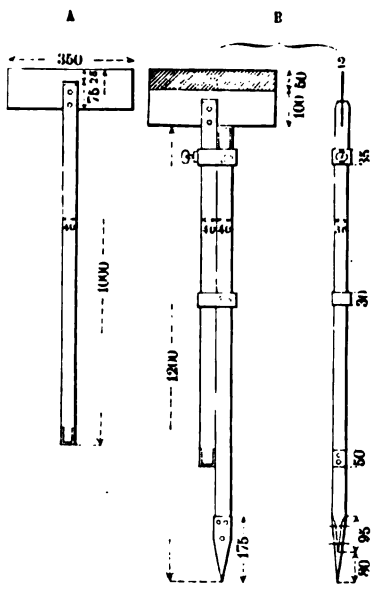


Fig. 295. — Nivelettes (1/20).

L'un des chefs de brigade commence alors par marquer sur le ballast, avec la règle divisée (fig. 296), l'emplacement de chaque traverse ; les sept autres ouvriers de la brigade mettent les traverses dans leur position en commençant par celles de joint, ou par deux traverses les plus voisines, si les joints sont en porte-à-faux, on a soin de placer ces premières traverses avec précision en les tenant un peu plus élevées que les autres.

Quand l'axe des attaches des rails ne correspond pas à l'axe de la traverse, on doit placer la face verticale, la plus voisine de l'axe des attaches du côté

d'où doit venir le train, afin de donner à la traverse une plus grande résistance au renversement.

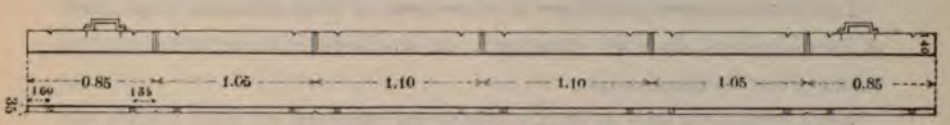


Fig. 296. — Règle de répartition des traverses (1/50).

Vient ensuite la deuxième brigade, dont le chef et deux hommes règlent la disposition exacte des traverses intermédiaires, et les cinq autres posent les rails dans leurs coussinets, les relient avec les éclisses et leurs boulons sans les serrer, en plaçant, entre les abouts des rails, les cales ou plaquettes d'écartement fixées par le degré de température au moment de la pose (fig. 292).

La troisième brigade procède alors au coinçage des rails de la manière suivante :

1° L'un des ouvriers marque la position des coussinets ;

2° Un second distribue les coins en les plaçant près des traverses ;

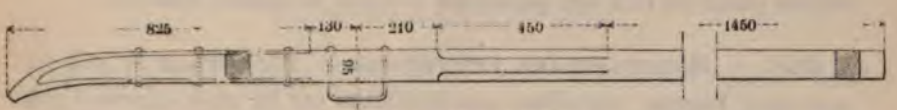


Fig. 297. — Anspect (1/20).

3° Deux autres, chacun avec une grosse pince ou un anspect court, (fig. 297) soulèvent les traverses et les ajustent de manière à faire concorder les coussinets avec la place marquée sur le rail ;

4° Le chef de brigade pose les coins avec toutes les précautions nécessaires pour éviter d'en déchirer les surfaces ou de les fendre ;

5° Deux autres ouvriers de la brigade garnissent le dessous des traverses soulevées, avec la pelle ou la pioche, de la quantité de ballast nécessaire pour les maintenir à la hauteur requise ;

6° Le dernier ouvrier serre alors à fond les boulons des éclisses ;

Les deux autres brigades, ayant pris de l'avance sur la troisième, reviennent sur leurs pas et travaillent en commun au garnissage et au bourrage des traverses, au dressement de la voie, enfin au bourrage définitif.

Quand la pose se fait avec voie provisoire sur plate-forme à l'emplacement de la voie définitive, on peut, ainsi qu'il a été dit précédemment, n'exécuter

le ballastage qu'à mesure de la pose de la voie ; dans ce cas, on procède par relevages successifs.

Les traverses étant posées sur la plate-forme à leurs distances respectives et les rails placés dans les coussinets, on décharge le ballast entre les traverses et sur les accotements.

Alors on soulève avec de forts anspects les traverses de joint jusqu'à une hauteur excédant un peu celle qu'elles devront conserver.

Pendant ce temps les autres ouvriers garnissent le dessous des traverses intermédiaires avec du ballast, et en font le bourrage aussi complet que possible.

Arrivés à l'extrémité de la voie non ballastée, on dispose les rails suivant un plan incliné qui permet aux trains de passer de la voie relevée à la voie couchée sur la plate-forme. En général on n'opère pas le relevage en une seule fois ; il vaut mieux le faire en deux et même en trois opérations successives car on ménage ainsi les rails et surtout leurs attaches.

Dans ce système de pose provisoire sur plate-forme, les relevages successifs ne permettent pas l'emploi des éclisses ; dans ce cas, on fait le joint près du plan incliné, avec des traverses et coussinets de joint qu'on remplace par des éclisses quand les rails sont parvenus à leur cote de hauteur définitive.

246. — Bourrage des traverses. — Par longueur de rail, on met deux hommes travaillant simultanément sur les côtés opposés d'une même traverse. Ces deux ouvriers commencent par le milieu de la traverse, en s'éloignant vers les extrémités. Pour commencer le bourrage, on se sert des battes en bois ou en fer représentées par la figure 298 (A B C). Quand le ballast a pris une certaine consistance, on emploie la pioche à bourrer dont les coups doivent avoir d'abord une direction très inclinée de manière à tasser le ballast aussi verticalement que possible. Cette direction se rapproche successivement de l'horizontale à mesure que le ballast se serre sous la traverse, mais en ayant soin que la pioche ne rencontre pas les arêtes de la traverse.

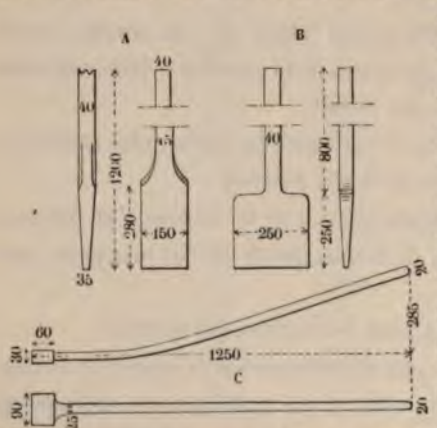


Fig. 298. — Battes à bourrer : A, B, en bois, C en fer (1/20).

La figure 299 représente deux espèces de pioches à bourrer : le type A est formé d'un arc en bois, garni à ses deux extrémités de deux ferrements aciérés fixés sur le bois au moyen de petits rivets à tête fraisée. L'outil B est en fer avec ses extrémités aciérées. Beaucoup plus lourd et plus coûteux que le précédent, il ne doit être employé que dans les parties de lignes où le ballast, difficile à bourrer exige des chocs suffisamment énergiques pour prendre corps.

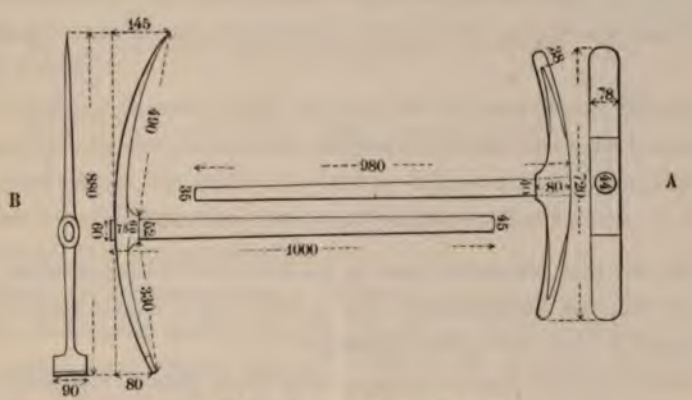


Fig. 299. — Pioches à bourrer (1/20).

On doit éviter de bourrer le ballast au milieu même de la longueur des traverses, sur un espace de $0^m,40$ à $0^m,50$ que l'on se contente de garnir de sable sans serrage. Cette disposition a pour but de faire porter la traverse sous l'aplomb des rails, là où le bourrage doit être le plus énergique. Quand il s'agit d'une pose nouvelle, le bourrage, surtout au commencement ne doit pas être forcé ; il s'agit, avant tout, d'obtenir un serrage aussi uniforme que possible sous toutes les traverses, afin qu'elles portent toutes également.

Lorsque le bourrage a dépassé la limite convenable et qu'il en résulte une surélévation anormale du rail, il faut, si cette différence de hauteur est trop forte, enlever le ballast sous la traverse ; si elle est faible, on pourra la faire disparaître par quelques coups de dame donnés, *non pas sur la traverse*, ce qui doit *être absolument interdit*, mais seulement sur le rail et avec précaution.

247. — Emploi du coussinet-éclisse. — Quand les joints sont faits avec des coussinets-éclisses, on place les deux parties de chaque coussinet de manière qu'il y ait coïncidence parfaite sur toute la longueur, entre leurs portées et le rail, mais en ne serrant que légèrement les boulons. Ce n'est

des traverses jusqu'à ce que les rails atteignent la hauteur prescrite. En alignement droit, la hauteur de l'une des files de rails est fixée par rapport aux piquets de hauteur, au moyen du niveau à bulle d'air; puis la deuxième file est repérée sur la première, avec le niveau à fil-à-plomb.

Dans les courbes, la première file étant posée comme précédemment, la deuxième est fixée à hauteur, au moyen du niveau à fil-à-plomb posé sur une règle portant des entailles qui correspondent aux rayons des courbes et donnant ainsi directement le surélèvement du rail extérieur (fig. 294).

La voie étant parfaitement dressée, le bourrage définitif s'exécute au moyen de vingt à vingt-cinq ouvriers ; sur chaque rail, on met deux hommes travaillant simultanément de chaque côté de la même traverse.

Après le bourrage, on redresse encore la voie, mais dans ce cas on opère plutôt par enfoncement des traverses. Quand elles sont beaucoup trop élevées, il faut en retirer le ballast petit à petit ; mais, si la surélévation est faible, on peut donner à la traverse et mieux au rail, quelques coups de dame, avec précaution toutefois, pour ménager le bois.

Le remplissage s'exécute ensuite en piétinant et serrant le ballast aux joints des rails et aux extrémités des traverses.

C'est seulement après l'achèvement du remplissage que l'on peut laisser circuler les trains sur les voies nouvelles ; jusque-là on fera bien de n'admettre sur les voies que des vagons poussés à bras d'homme ou tirés par des chevaux, ou bien des trains de matériaux remorqués par des machines légères marchant à une très faible vitesse.

La pose des voies sur le *Chemin de fer central Suisse* a été faite au moyen d'ateliers de quarante-six hommes, pouvant achever en onze heures de travail 100 mètres de voie au minimum (1). Chaque atelier se composait comme suit :

1 chef d'équipe ;
5 poseurs de rails ;
10 poseurs de traverses (2 équipes de 5 hommes) ;
12 poseurs et cloueurs (2 équipes de 6 hommes) ;
14 bourreurs ;
2 poseurs d'éclisses ;
1 aide-forgeron ;
1 surveillant.
46

(1) Les ateliers du Chemin du Pacifique (Omaha à Sacramento) sont arrivés à poser jusqu'à 10 kilomètres par jour : c'était il est vrai un tour de force commandé par la circonstance et exigeant un remaniement ultérieur.

Nous pouvons également citer la construction de la ligne de Modzbah au

Ces hommes étaient employés au chantier de dépôt pendant la suspension des travaux de pose de la voie. L'outillage d'un atelier ainsi organisé comprenait l'outillage ordinaire employé à la pose de la voie proprement dite, et l'outillage spécial à la préparation du matériel, tel que matériaux de forgeron, scies, ciseaux, machines à percer, forge portative, etc.

En Wurtemberg et en Suisse, l'axe de la voie étant piqueté comme nous l'avons dit précédemment, dans les courbes on tendait entre deux piquets d'axe des ficelles divisées en dix parties au moyen de nœuds qui servent d'abscisses aux ordonnées qu'on relève à l'échelle pour marquer la position du rail intérieur; le rail extérieur se réglait d'après le premier.

Les piquets de niveau étaient placés, dans les alignements droits, sur l'axe ou sur l'accotement; dans les courbes, sur l'accotement intérieur. Outre ces piquets de niveau, on en place d'autres au moyen de nivelettes (fig. 295), et c'est d'après ces derniers piquets placés à proximité des joints, que l'on règle la hauteur des rails au moyen du niveau d'eau ou à bulle d'air.

Les rails, traverses, etc., pour 150 mètres de longueur de voie, sont disposés sur les accotements. On les amène pendant la nuit sur les vagons à ballast jusqu'à l'extrémité de la voie dont le bourrage est achevé; de là le transport se fait à bras et les matériaux sont répartis de manière qu'ils se trouvent à la hauteur du point où ils seront employés. L'approvisionnement doit correspondre au travail de pose de deux joints au moins.

Les poseurs placent alors les rails et les traverses de joint, en se servant des jalons pour la direction à donner à la voie, et des niveaux pour la hauteur du rail intérieur. On règle la hauteur des rails extérieurs au moyen du niveau à fil-à-plomb, et l'écartement, avec la règle d'écartement variable selon la grandeur du rayon. Ainsi posés, les rails sont légèrement fixés sur les traverses de joint avec les crampons.

Cette première brigade est suivie de deux autres, distantes entre elles de 10 à 12 mètres, chargées de placer les traverses intermédiaires sans déranger les traverses de joint, elles mettent de côté les rails, placent les traverses intermédiaires, reposent les rails et font un léger bourrage des traverses.

Le perçage et le clouage s'exécutent par la brigade suivante. Pour chasser les crampons, les traverses sont soulevées au moyen d'anspects, les platines de joint conservant leur position normale, les rails maintenus à l'écartement et dans la direction voulue, de manière à rendre le dressement le moins la-

Kreider dont les 34 kilomètres ont été construits en pleine insurrection en 52 jours, y compris la mise en train, les jours de chômage, etc.

borieux possible ; chaque brigade de cloueurs suit toujours la même file de rails.

Les bourreurs sont partagés en brigades de six hommes, dont deux bourrent les traverses de joint et règlent le ballast, pendant que les autres font le bourrage des traverses intermédiaires. Quand la deuxième brigade a rejoint la première, elle reprend le travail à la troisième longueur de rails, laissant en arrière la première, qui, à son tour, dépasse celle qui la précède et ainsi de suite.

Quant au lieu de se servir de crampons, on fixe les rails avec des tire-fond, les traverses sont percées d'avance. A l'Est on place les tire-fond à la main après les avoir graissés pour rendre leur introduction plus facile ; on les serre ensuite au moyen de la clé à douille (fig. 303-A) ; l'enfoncement par percussion est rigoureusement interdit.

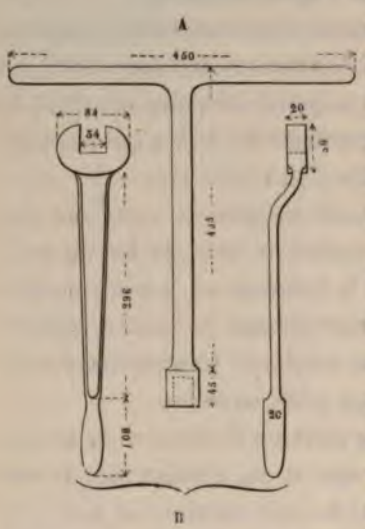


Fig. 303-A, — Clé à douille pour le serrage des tire-fond. B, clé pour le serrage des boulons d'éclisses (1/10).

Le serrage des tire-fond doit être suffisant pour mettre en contact le rail et la traverse. Il faut éviter d'aller au-delà, surtout jusqu'à faire déverser le rail et conduire ce serrage de manière à ne pas fausser la largeur de la voie, aussi les deux ouvriers opérant simultanément aux extrémités de chaque traverse se font-ils précéder du gabarit d'écartement (fig. 300-301) placé bien normalement tout près de la traverse à fixer ; ils serrent alternativement et progressivement chaque tire-fond en évitant de serrer aucun d'eux immédiatement à fond, et en s'arrangeant de manière à terminer le serrage par le tire-fond intérieur.

Le dressement s'effectue sous la direction d'un chef d'équipe aidé de quatre hommes armés de leviers, de cames et de marteaux. La fixation des éclisses complète la pose ; cette dernière opération est exécutée par deux hommes munis de clés pour serrer les écrous des boulons (fig. 303-B). Ce travail demande de la part des ouvriers un certain tour de main pour obtenir un serrage convenable des écrous, c'est-à-dire une pression suffisante des deux éclisses tout en ménageant les filets des boulons ou de leurs écrous. Pour cela, il suffit à un homme de force moyenne d'exercer la pression dont il est

capable, sans effort anormal, à l'extrémité de la clé. Un serrage plus énergique n'assurerait pas à l'éclisse un meilleur effet et pourrait altérer les filets. La tête et l'écrou doivent porter bien normalement sur les faces des éclisses. L'interposition des rondelles est nécessaire pour empêcher le desserrage de l'écrou (196).

Réparations. — Il est nécessaire de resserrer fréquemment les boulons dans les premiers temps de la pose, parce que ces boulons prennent du jeu par suite du rodage des surfaces de contact des éclisses ; si l'on néglige cette précaution et qu'on veuille *plus tard* resserrer les boulons, l'oxydation des pas de vis arrête les écrous et l'on casse un grand nombre de boulons. Une pose neuve doit toujours subir un relevage en grand, au printemps ou à l'automne qui suit l'ouverture de la ligne ; les tassements partiels qui se présentent dans l'intervalle sont simplement corrigés par le bourrage des traverses ballotantes ou le redressement des parties déviées. Lors de ces réparations partielles, il ne faut déblayer à la fois qu'une seule face des traverses et remplir le vide immédiatement après l'achèvement de l'opération (249).

249. — Pose de la voie des passages à niveau — A la rencontre des passages à niveau, les voies doivent être posées sans aucune saillie ni dépression par rapport au plan de la route de terre.

Il faut aussi que, sur toute la surface de la traversée du chemin de fer, la plate-forme soit recouverte d'une matière susceptible de supporter la circulation de cette route.

Quand le chemin transversal est peu fréquenté, la chaussée peut être construite, soit en madriers de sapin de 8 à 10 centimètres d'épaisseur, soit en gravier ou cailloux, à la *macadam*.

Si la circulation de la route est importante, il vaut mieux paver toute la traversée, en choisissant des pavés de bel échantillon.

Il faut, en outre, ménager une *rainure* ou *ornière* au long du champignon des rails qui regarde l'axe de la voie, rainure destinée à livrer passage au boudin des roues des véhicules du chemin de fer.

A cet effet, on place à une certaine distance du rail, vers l'axe de la voie, un contre-rail fixé de manière à conserver invariablement la position qui lui est assignée.

L'intervalle à ménager entre le rail et le contre-rail, sur la largeur de la route, doit être tel que les sabots des animaux ne puissent pas s'enfoncer de manière à se trouver arrêtés. — Les administrations de chemin de fer ont,

en effet, à soutenir de nombreux procès intentés par les propriétaires d'animaux blessés et même mis hors de service par suite de l'arrêt des sabots introduits dans les rainures trop larges ou trop profondes des passages à niveau.

La rainure est ordinairement obtenue au moyen de deux rails à champignons distants de $0^m,05$ à $0^m,06$; mais les rails laissent en-dessous du champignon un vide qui peut aller jusqu'à $0^m,10$ de largeur et plus encore en profondeur. C'est dans ce vide que s'introduisent souvent les crampons des fers des chevaux, et qu'ils s'y calent par les efforts de l'animal.

Fig. — 304. Rail de passage à niveau.

Pour parer à cet inconvénient, quelques chemins de fer allemands ont un rail spécial qui a la forme du profil indiqué par la figure 304. L'ornière ainsi construite n'offre aucun des inconvénients signalés, mais elle oblige à introduire un nouvel élément dans la voie, à interrompre la pose de la voie courante à chaque passage à niveau, et par suite, à multiplier les coupures des rails et les joints, ce qui est toujours une cause d'embarras pour l'entretien. En outre le rail ne se prête pas bien à l'évasement destiné à donner de l'entrée à l'ornière ou à la surlargeur de la voie dans les courbes.

On obvie en grande partie aux inconvénients de l'ornière ordinaire en garnissant le fond avec une fourrure en bois; dans ce cas, l'espace libre de l'ornière doit avoir au moins $0^m,038$ de profondeur, en prévision de l'usure des bandages.

Quand la voie est construite avec des rails à deux champignons et des coussinets, la pose des rails se fait sur des traverses portant des coussinets spéciaux qui reçoivent le rail courant avec son inclinaison ordinaire, et le contre-rail, auquel on ne donne point d'inclinaison. En sabotant ces traverses on a soin de placer la chambre du rail sans inclinaison du côté du milieu de la traverse.

Nous avons vu (40 et 41) que la largeur des passages à niveau varie avec l'importance des chemins rencontrés et l'angle des traversées.

Les contre-rails, dans toute la longueur du passage, seront posés de manière que leurs joints, si la largeur du passage en doit comporter, ne correspondent pas à ceux des rails.

En dehors de la largeur réglementaire de la voie charretière sur le passage à niveau, le contre-rail est dévié sur une longueur suffisante pour donner de l'*entrée* aux boudins, et éviter ainsi les chocs violents des roues mal calées à la rencontre des contre-rails.

La figure 305 représente en plan l'extrémité déviée d'un contre-rail de passage à niveau, et sa situation relativement au rail courant de la voie. Les deux rails reposent dans un coussinet double qui les maintient à la distance voulue.

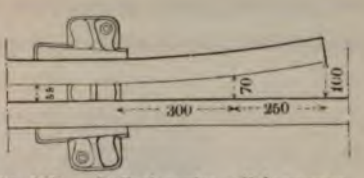


Fig. 305. — Rail et contre-rail de passage à niveau (1/20).

Les coussinets en fonte employés dans la construction des passages à niveau doivent être plus élevés que les coussinets ordinaires, afin de laisser une hauteur suffisante au-dessus de la traverse pour exécuter le pavage de la traversée.

L'écartement normal étant de $0^m,055$, la déviation de l'extrémité libre devrait être $0^m,020$, correspondant à l'usure maxima des boudins et l'ouverture totale portée à $0^m,075$; mais comme il peut se présenter des roues en partie décalées ou trop usées, on prolonge la déviation jusqu'à $0^m,10$ de largeur ; alors on a soin que l'extrémité des contre-rails ainsi déviée soit à 1 mètre au moins de la bordure de la chaussée pour voitures, et à $0^m,50$ au moins de la bordure du trottoir pour piétons.

Avec les rails Vignoles, on prend d'autres dispositions pour attacher le contre-rail. On fixe souvent les deux rails sur des coussinets en fonte portés par les traverses, soit en maintenant les rails par leurs patins, soit en les consolidant au moyen de boulons qui les relient aux joues des coussinets.

Les passages à niveau du Chemin Central Suisse sont formés par la juxtaposition de deux rails fixés avec des crampons ordinaires sur des platines en fer à double inclinaison, portant des tasseaux en fer ; ces platines sont noyées dans l'épaisseur des traverses. (*Note sur les chemins de fer suisses*).

Les passages à niveau du chemin de fer badois ont été établis d'après le système de pose mixte sur dés et longuerines, appliqué sur quelques parties du réseau. La figure 306 en donne une description suffisante. Sauf l'emploi des longuerines, que nous blâmons, ce système nous paraît le plus simple de tous ceux que nous avons décrits, et en même temps celui dont l'entretien est le plus facile et le moins coûteux pour les passages pavés.

Il ne suffit pas, en effet, qu'un passage à niveau soit solidement construit, il faut encore que l'on puisse facilement l'entretenir en bon état et que le remplacement des pièces s'en fasse rapidement, afin de ne pas interrompre la circulation sur la ligne, or le remplacement des traverses pourries ou des coussinets cassés entraîne la démolition d'une grande partie du passage, tan-

dis que le rail porté sur des dés en pierre peut être enlevé facilement et remplacé en un tour de main, sans que le reste de la chaussée soit entamé.

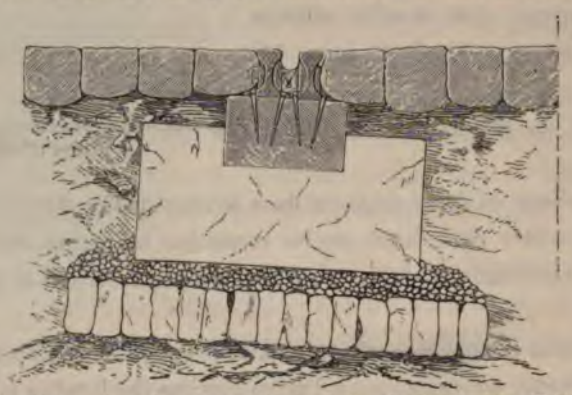


Fig. 306. — Pose des passages à niveau des chemins badois, (1/20).

L'entretien présente encore plus de difficultés quand il s'applique à des passages à niveau posés sur longuerines réunies par des traverses.

Aujourd'hui, on tend à simplifier de plus en plus toutes les parties des passages à niveau. On pose le rail et le contre-rail absolument comme sur la voie courante, quel que soit le système adopté ; on fait, chaque fois que cela est possible, une chaussée en macadam ; quand on est obligé, à cause de l'activité de la circulation, de faire un pavage, on diminue la couche de sable et la dimension des pavés au-dessus des traverses ou longuerines, choisissant les plus petits pavés pour les placer contre les rails ou les coussinets.

Pour les passages à niveau des chemins de l'Est, construits en rails Vignoles de $0^m,120$ de hauteur, on emploie comme nous venons de le dire, des contre-rails qui laissent une ornière de $0^m,05$ de largeur normale. Toutes les ornières se terminent des deux côtés par une partie évasée, obtenue en infléchissant les contre-rails suivant une courbe en arc de cercle de 3 mètres de rayon sur $0^m,60$ de longueur ; la largeur de l'ornière à l'extrémité des contre-rails est ainsi portée à $0^m,11$.

Le contre-rail a une inclinaison de 1/20e symétrique de celle du rail, de façon qu'il reste entre les patins un intervalle de $0^m,022$, pour placer les tire-fond.

Quand le passage à niveau est simplement empierré, les rails et contre-rails sont fixés directement sur les traverses.

Lorsque la chaussée doit recevoir un pavage, il faut lui ménager une plus grande épaisseur au-dessus des traverses. A l'origine, on se servait de pavés de $0^m,12$, posés sur couche de sable de 2 à 3 centimètres d'épaisseur. Il

résultait de cette disposition une différence de niveau, entre le pavage général et les rails, que l'on rachetait par des petits plans inclinés formés avec des pavés très petits, taillés à la demande de la pose.

Pour éviter cette sujétion et l'inconvénient de la présence des plans inclinés, on interpose entre les rails et les traverses des cales en fonte de $0^m,08$ d'épaisseur. Les tire-fond qui traversent ces cales ont une tige cylindrique suffisamment longue pour que les filets s'engagent dans la traverse, de la même quantité que les tire-fond de la voie courante.

La Compagnie du Chemin de fer de Lyon s'est servie de traverses plus épaisses, évidées de chaque côté des rails et contre-rails, afin de pouvoir faire un pavage parfaitement horizontal. Cette disposition est coûteuse et gênante ; coûteuse puisqu'elle occasionne un déchet de bois dont il y a lieu de tenir compte ; gênante, car elle interrompt l'uniformité dans la pose de la voie courante et nécessite un matériel spécial en approvisionnement.

En Belgique, en Prusse, on a supprimé le contre-rail sur la traversée des routes peu importantes, l'ornière étant formée par le rail de la voie et un pavage ou un parquet en madriers.

Cette disposition est très économique et peut convenir à la plupart des chemins où la circulation est peu active, la vitesse des trains modérée et les voitures légèrement chargées.

250. — Rencontre des ouvrages d'art. — Portées anormales. — Lorsque la voie passe sur des ouvrages courants, elle suit sans modification sa marche normale ; il faut cependant prendre les précautions suivantes :

— Donner au ballast, sous les traverses, une épaisseur de $0^m,25$ au minimum ;

— Répartir les supports de la voie de manière que la clé de voûte se trouve toujours entre deux traverses ;

— Quand les ouvrages ont peu de longueur, éviter, si c'est possible, les joints entre les culées. Les cahiers des charges réservant à l'administration du chemin de fer la faculté de commander des rails de longueurs variables, cette précaution pourra toujours être prise.

Aux approches d'un ouvrage d'art sur lequel le système de la voie est différent de celui de la voie courante, s'il consiste, par exemple, en rails Brunel ou Vignoles posés sur longuerines faisant corps avec les tabliers des ponts métalliques, etc., on arrête la pose à 50 ou 60 mètres de l'ouvrage, et l'on mesure exactement la distance qui reste à poser entre la voie courante arrê-

tée et l'origine de la voie spéciale à l'ouvrage d'art. La lacune est remplacée au moyen de rails de longueurs exceptionnelles alternant avec des rails ordinaires.

Autant que possible, il faut éviter ces rails de sujétion, et pousser sur les ouvrages d'art en général la voie courante, sans changement d'allure.

Le passage des trains sur les ponts métalliques de quelque étendue produit des vibrations qui se manifestent souvent par un bruit très intense. On peut diminuer l'amplitude de ces vibrations par un bon système de construction de l'ouvrage, et par les soins apportés dans l'exécution de tous les assemblages.

En ce qui concerne les ouvrages existants, on peut remédier à l'inconvénient signalé en posant les rails sur bois, traverses ou longuerines, dont l'élasticité annule en partie l'effet des chocs des véhicules. L'emploi des traverses est préférable à celui des longuerines, en raison de la facilité de remplacement.

Rails coupés. — Les coupures de rails sont toujours une cause de gêne pour le service de l'entretien ; il faut donc les éviter autant que possible. Mais quand on sera obligé de subir cette nécessité, on prendra toujours la précaution de placer, en approvisionnement, un deuxième rail de même longueur à proximité de celui qui est posé dans la voie.

En cas de pose spéciale, il ne peut plus être question de conserver aux traverses leur espacement réglementaire ; les portées normales pourront donc être modifiées mais *toujours en moins*, afin de ménager les rails. — (Annexe P).

§ V.

Entretien et Réfection.

251. — Entretien du ballast. — Le ballast doit être profilé en travers et dans le sens longitudinal, de manière à donner aux eaux un écoulement rapide (150). Il est important que ce profil, qui varie d'ailleurs avec la nature du ballast, soit rigoureusement conservé dans sa forme générale, ses talus entretenus avec soin, les portions qui s'éboulent relevées constamment, le ballast le plus gros recouvrant le menu pour empêcher le ravinement par les eaux ou l'enlèvement par le vent.

Souvent on place les traverses de la voie Vignoles (211), à fleur de la surface du ballast.

Cette disposition conduit, dans les courbes de petit rayon, à relever notablement l'une des extrémités des traverses au-dessus du plan général de la voie, et à donner au ballast le profil représenté par la figure 307, qui est disposé pour éloigner les eaux des extrémités des traverses et leur ménager un prompt écoulement.

Fig. 307. — Profil de la voie Vignoles en courbe (1/300).

Pour conserver au ballast la plus grande faculté pour absorber l'eau, il importe d'en écarter toute végétation et, par conséquent, d'arracher immédiatement les plantes qui pourraient y avoir pris racine ; les mêmes précautions s'appliquent aux banquettes de la plate-forme des terrassements.

La qualité du ballast a la plus grande influence sur les frais d'entretien de la voie ; il faut donc, pour un ballast donné, rechercher la forme qui paraît la mieux appropriée à sa nature. Si l'on n'a pas obtenu tout d'abord une voie suffisamment résistante, si les tentatives opérées en modifiant soit la forme des profils-types, soit la composition de la matière, n'ont pas rendu à la voie la stabilité voulue, il faut sans hésiter, remplacer le ballast défectueux par un ballast de bonne qualité ; mais ce remplacement constitue une dépense parfois considérable.

Le prix de revient du mètre cube de ballast renouvelé varie nécessairement avec la localité, le taux de la main-d'œuvre, la nature et la valeur du ballast, enfin la distance de transport. Le tableau suivant résume les frais, par mètre cube de ballast, afférents aux diverses opérations de ce renouvellement sur plusieurs sections d'une grande ligne en exploitation.

ACHAT du ballast	Main-d'œuvre (1)	Traction	Frais généraux	Totaux	OBSERVATIONS
1fr70	2fr52	1fr10 (2)	0fr61	5fr93	(1) Y compris l'enlèvement du mauvais ballast.
1.72	1.54	0.63 (3)	0.36	4.25	(2) 0 fr. 032 par kil.
0.50 (4)	1.33	0.62	0.19	2.64	(3) 0 fr. 047 par kil.
1.70	3.00	0.49 (5)	0.45	5.65	(4) Extrait d'une carrière appartenant au chemin de fer.
1.70	1.20	0.45 (6)	0.25	3.60	(5) 0 fr. 036 par kil.
					(6) 0 fr. 023 par kil.

Ces chiffres justifient pleinement les considérations que nous avons développées au sujet du choix du ballast (151).

252. — Entretien des traverses. — Après un laps de temps plus ou moins long, les traverses présentent des symptômes d'ébranlement ou de détérioration, sur lesquels le service d'entretien portera toute son attention.

L'ébranlement est facile à reconnaître d'après l'état désagrégé du ballast qui entoure la traverse ; on y remédie en la dégarnissant de la seconde couche et en bourrant le ballast jusqu'à ce que la traverse ait pris une assiette convenable (245).

Les détériorations qui intéressent la sécurité sont : la courbure, l'écrasement, les fentes, la rupture transversale et la pourriture.

Les traverses, celles mêmes qui sont posées normalement à l'axe peuvent, quand elles se courbent, produire un rapprochement ou un écartement des rails. L'écrasement du bois amène un résultat semblable. Si cette diminution ou cette augmentation de la largeur règlementaire de la voie dépasse $0^m,01$ à $0^m,02$, il est indispensable de retirer les traverses affectées de ce défaut et de les saboter à nouveau.

Lorsque les fentes passent par les attaches du rail, il faut immédiatement remplacer la traverse avariée par une traverse en bon état, et procéder pour la pièce retirée conformément aux dispositions indiquées précédément.

Il en sera de même pour les traverses pourries superficiellement. Lorsque la pourriture a réduit l'épaisseur du bon bois à moins de $0^m,10$ à $0^m,12$, il n'est pas prudent de conserver dans les voies principales une telle pièce qui peut d'ailleurs trouver sur les voies de garage un emploi très convenable.

Les traverses se déplacent quelquefois dans la direction de l'axe de la voie et dans le sens transversal. Ces deux modifications au plan de pose n'intéressent pas toujours la sécurité, mais, lorsque le déplacement des traverses dans la direction de l'axe de la voie se fait inégalement sur les deux extrémités des traverses, il faut parer sans retard à cette défectuosité en redressant les traverses obliques.

Les traverses déplacées dans le sens transversal doivent être ramenées dans la position voulue, en employant le levier B (fig. 302) et en bourrant très énergiquement le ballast vers l'extrémité de la traverse qui tend à sortir de l'alignement.

Pour s'opposer à ce déplacement, quelques ouvriers se servent, surtout dans les courbes de petit rayon, de piquets en bois enfoncés verticalement

dans la plate-forme, à l'extrémité des traverses qui ont une tendance à glisser. Cette pratique ne doit être tolérée qu'à titre provisoire, car le déplacement en question étant un indice de pose défectueuse, il faudrait, s'il persistait, faire un révision minutieuse des profils, en tous sens, et ramener la voie dans sa position normale par un remaniement complet.

C'est principalement sur les traverses de joint ou voisines du joint que l'attention doit se porter. Quand les voies ne sont pas éclissées, les traverses de joint se renversent en tournant autour de leur axe longitudinal, et les extrémités des rails *désaffleurent* (fig. 308). Il faut redresser ces traverses par un bourrage plus serré du côté qui tend à plonger; malgré le soin apporté à ce travail, l'effet ne tarde pas à se reproduire et les rails à *désaffleurer;* on retrouve ainsi à tous les joints de la ligne une cause permanente de destruction de la voie ainsi que du matériel roulant, et de malaise pour les voyageurs.

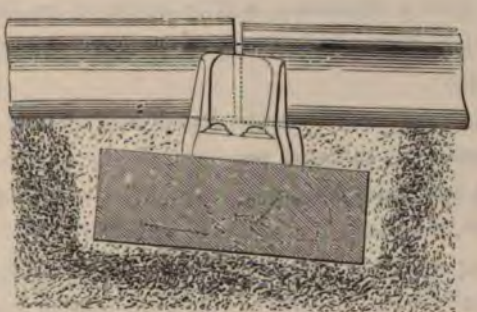


Fig. 308. — Dévers des traverses (1/10.)

Quand la voie est éclissée, le dévers des traverses est moins prononcé, mais la traverse de joint est en quelque sorte suspendue dans le ballast désagrégé. L'assemblage des abouts des rails est soumis à des efforts anormaux qui se traduisent par une fatigue excessive de l'éclissage. Les signes extérieurs de ces efforts sont des traces d'oxydation sur les rails, aux extrémités des éclisses. Pour y remédier, on tiendra le bourrage des joints plus *roide* que celui des autres traverses; cette recommandation est d'autant plus importante que les joints forment généralement des *points bas*, en raison de la fatigue qu'ils éprouvent, et que ces points bas attirent les eaux dont la présence altère l'assiette de la voie (143).

C'est surtout avant l'entrée de l'hiver que le règlement du profil du ballast et le bourrage des traverses doivent être exécutés avec le plus de soin, de manière à présenter le moins de défectuosités possible lors de l'arrivée des gelées ou des changements notables de température.

Nonobstant ces précautions, si des tassements sérieux se présentent et nécessitent le relevage des traverses gelées, on peut maintenir le niveau de la voie au moyen de cales en bois ; mais il est bien entendu que ce palliatif disparaîtra dès que les circonstances atmosphériques permettront de réparer la voie par les moyens ordinaires.

253. — Entretien des attaches. — Les soins que réclament les attaches consistent à les maintenir constamment en contact avec les pièces dont elles doivent assurer la position et à les remplacer lorsqu'elles ne remplissent plus les conditions de leur emploi.

Chevillettes. — Les chevillettes que l'on a appliquées pour fixer sur les traverses les coussinets en fonte sortent quelquefois de leur trou ; le tassement du ballast décèle promptement l'existence de ce point défectueux. On enfonce les chevillettes à petits coups de masse, de manière à remettre leur tête en contact avec le coussinet ; si cette opération ne suffit pas, il faut changer le coussinet de place afin de poser la chevillette dans une partie du bois plus résistante.

Le percement des nouveaux trous ne doit se faire qu'avec une tarière d'un diamètre rigoureusement suffisant pour que l'enfoncement de la chevillette puisse avoir lieu sans faire fendre les traverses ; par exemple : on prendra une tarière de $0^m,014$ pour des chevillettes de $0^m,018$ (221). Toute tarière d'un diamètre supérieur sera immédiatement retirée des mains des équipes d'entretien. Il faut comme nous l'avons dit avoir soin de boucher les anciens trous avec des chevilles en bois sain et bien sec.

Quand la tête d'une chevillette est détachée, on doit essayer d'arracher la tige, et s'il ne reste pas assez de fer en saillie pour qu'on puisse la saisir avec une tenaille à fourche ou la pince à pied de biche (fig. 302-A), on chasse la tige à travers le bois au moyen d'un mandrin d'un diamètre un peu inférieur à celui de la chevillette ; on replace alors dans le trou une chevillette neuve, en ayant soin de la frapper légèrement et bien normalement.

Nous avons vu (193) que les chevillettes présentent deux points distincts d'usure normale ; tantôt sur le collet, partie comprise dans l'épaisseur de la semelle du coussinet, tantôt sur la tige engagée dans le bois (fig. 309). Ces deux espèces de détériorations, dues à deux causes différentes, la première toute mécanique, la seconde, résultant des réactions chimiques nécessitent l'une et l'autre le remplacement des chevillettes avariées. D'après M. Culmann, ces réactions seraient dues à l'oxydation du fer de la chevillette, à la formation du sesquioxyde de fer qui aurait la propriété de céder une partie de

son oxygène à la matière ligneuse qu'il brûlerait ainsi, et de revenir à l'état de protoxyde pour se transformer de nouveau en sesquioxyde, et ainsi de suite indéfiniment, propageant la destruction du bois d'un côté et du fer de l'autre. On remplace donc la chevillette avariée ; cependant, si l'effet se présentait sur plus d'une chevillette par traverse, il vaudrait mieux retirer la bille de la voie et déplacer les coussinets.

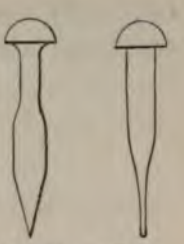


Fig. 309. — Usure des chevillettes (1/5).

Crampons. — Les observations relatives à l'entretien des chevillettes s'appliquent également à celui des crampons. Pour les crampons, toutefois, l'enfoncement doit se faire avec plus de ménagements encore, car un coup de masse porté à faux peut faire sauter la tête du crampon. Pendant le remplacement des attaches sur la voie, il faut poser la règle d'écartement entre les rails et chasser bien normalement les crampons. Sans cette double précaution, la largeur de la voie pourrait se trouver modifiée. Les crampons sont souvent coupés au ras de la traverse, par le patin des rails ou celui des coussinets-éclisses. Pour éviter cet inconvénient, on engage les crampons ou les tire-fond en plein dans le patin (fig. 286, page 521, et fig. 310), on arrête aussi le glissement des rails Vignoles par l'emploi des éclisses-cornières etc. (187-188).

Tire-fond. — Il faut que les filets soient complètement remplis de bois ; le trou percé d'avance ne doit pas avoir un diamètre supérieur à celui du corps du tire-fond. On aura soin, en remplaçant un tire-fond, de le graisser avant de l'enfoncer. Dès qu'il sera enfoncé d'une quantité suffisante pour que le filet ait commencé à pénétrer dans le bois, on devra employer la clé et ne tolérer à aucun titre et sous aucun prétexte l'usage du marteau ; si le serrage présentait quelque difficulté, on mettrait deux hommes à la clé pour donner les derniers tours au tire-fond, jusqu'à ce que le chapeau vienne au contact de la pièce à fixer.

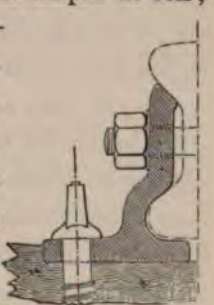


Fig. 310. — Substitution des tire-fond aux crampons (1/5).

L'état de la saillie ménagée sur la tête du tire-fond renseignera très exactement sur l'observation de ces prescriptions (194).

Coins. — Les coins doivent être chassés avec précaution. Leurs arêtes sont abattues par un chanfrein à chaque extrémité. Les coins ainsi disposés s'engagent facilement dans le coussinet. Il faut en les posant, éviter d'arracher le bois et les frapper, avec la chasse ou le chasse-coin de tournée

(fig. 311-B) dans l'axe de la tête ; en frappant vers les bords on risque de faire éclater le bois.

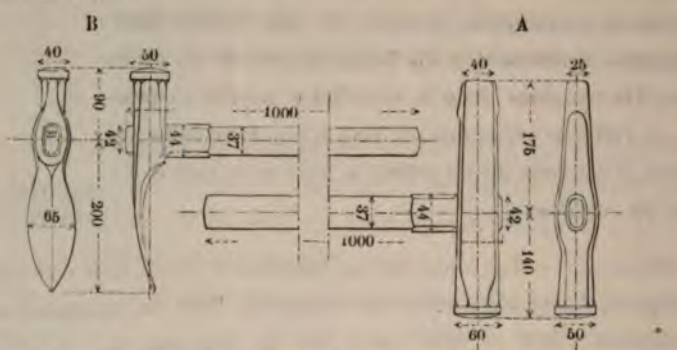


Fig. 311. — A. Chasse-coin ordinaire. — B. Chasse-coin de tournée (1/10).

Sur les lignes à double voie, le petit bout des coins doit être tourné du côté vers lequel se dirigent les trains. Sur les lignes à voie unique, on chassera les coins dans les deux directions à partir du milieu de chaque rail (238).

La *marche*, le *glissement des rails*, qui, lorsque le temps est sec, absorbe une grande partie du travail des équipes d'entretien, peut notablement diminuer par un coinçage soigné. Pour obtenir ce résultat, il est nécessaire d'employer des *coins bien secs et conservés à couvert* ; si on les emploie humides, on ne peut les engager dans le coussinet qu'en réduisant leur épaisseur, et alors la dessiccation les rend impropres au service. Un coin bien sec ne doit entrer dans le coussinet que sur une longueur égale à la largeur de la joue ; si, étant neuf, il pénètre plus avant, il ne tarde pas à prendre du jeu. Quand ce cas se présente, les poseurs ajoutent quelquefois des cales pour suppléer au défaut de serrage ; cette mesure est mauvaise et à peine tolérable à titre provisoire. Les équipes d'entretien doivent toujours être munies d'une quantité de coins suffisante pour que le remplacement des pièces défectueuses puisse se faire sans délai.

La dessiccation des coins est une des causes principales de dérangement des rails à coussinets. On obvie à cet inconvénient en tenant les coins bien couverts de ballast, dont on choisit pour cela les parties les plus terreuses; on entretient ainsi autour des coins une certaine humidité qui arrête la dessiccation du bois.

Il faut recommander aux cantonniers de ne frapper les coins avec la chasse que quand cela est nécessaire, et de donner le coup avec précaution, car certains ouvriers, par excès de zèle, se croient obligés, à chaque tournée, de frap-

per tous les coins indistinctement et avec force, ce qui contribue à les mettre promptement hors de service. C'est surtout pendant les quatre mois de juin à septembre que l'entretien réclame le plus de soins, les deux tiers des coins hors de service pendant toute l'année étant remplacés généralement dans le courant des mois de juillet et d'août.

Comme nous l'avons dit précédemment, la durée des coins ne dépasse pas quatre années.

La figure 311-B représente la chasse ou chasse-coin de tournée; c'est l'outil le plus généralement employé. Quant à celui représenté par la figure 311-A, il ne doit être employé qu'en pose neuve pour chasser les chevillettes et les crampons.

Coussinets en fonte. — Cette partie du matériel de la voie occasionne peu de frais d'entretien. Quand la fabrication a été bien soignée, la réception convenablement faite, et le sabotage des traverses pratiqué suivant les prescriptions détaillées précédemment, les coussinets ne doivent être remaniés que quand les traverses elles-mêmes arrivent à leur fin.

Nous rangeons dans cette catégorie de réparations le cas où les semelles des coussinets, découpées en portées de surface insuffisante, pénètrent dans le bois et modifient le plan de pose de la voie. Si la pénétration est uniforme l'inclinaison du rail peut ne pas subir de modification ; mais si la semelle rencontre des parties ligneuses inégalement compressibles, il en résulte des dévers de coussinets qui peuvent changer la position normale des rails. Dans ce cas, la traverse doit être resabotée ou mise au rebut, selon les conditons de résistance qu'elle présente.

Nous ne parlerons que pour mémoire des ruptures de coussinets provenant de coups de chasse mal dirigés ou de déraillement ; quand ces accidents empêchent les attaches de serrer convenablement la semelle sur la traverse, ou les joues de maintenir en contact parfait le rail et le coin, il faut remplacer les coussinets avariés.

Éclisses, selles, etc. — L'usure et l'entretien des éclisses plates, des coussinets-éclisses, des selles, platines, etc., sont renfermés dans des limites excessivement restreintes. Les seules détériorations que l'on ait constatées jusqu'ici consistent en une sorte de léger refoulement du métal vers les parties extrêmes ; mais ce mattage n'altère en rien la solidité du joint.

De même que pour les coussinets en fonte, nous rappellerons que sans être fragiles comme ces derniers, les éclisses, selles, etc., demandent néanmoins des ménagements dans l'emploi, il ne faut pas les frapper trop violemment avec

le marteau, car les chocs pourraient, sur la tranche, en altérer le profil et, sur les faces, y apporter des gauchissements, altérations qui, à coup sûr, empêchent l'éclisse d'appuyer convenablement.

Il faut donc manier ces pièces avec précaution et desserrer leurs attaches avant de les déplacer.

Boulons. — Les avaries ou ruptures de boulons d'éclisses sont très fréquentes. Cet article des frais d'entretien provient en grande partie du manque de soins dans la manœuvre de ces organes. Ainsi on frappe, souvent sans nécessité, sur la tête des boulons en place et à fond ; un seul coup dans ce cas suffit pour faire sauter la tête et mettre le boulon hors de service. Il en est de même quand on veut forcer un boulon à pénétrer dans des trous qui ne correspondent pas exactement les uns aux autres. D'autres fois, et sans se rendre compte des dimensions de la partie filetée, on cherche à serrer à outrance un écrou à bout de filet, malgré l'excès de résistance que la main éprouve dans ce cas. Toutes ces manœuvres sont mauvaises et le bon entretien de la voie réclame certains ménagements qu'il faut rigoureusement observer. Ainsi, quand on veut enlever un écrou en service depuis un certain temps, il ne faut pas chercher à le desserrer brusquement, mais plutôt à l'ébranler en s'efforçant de le serrer et le desserrer alternativement et peu à peu.

L'efficacité de l'éclissage dépend avant tout du maintien constant des têtes et écrous des boulons au contact des joues d'éclisses ; mais l'ébranlement résultant de la circulation des trains ne tarde pas à produire le desserrage des écrous ; cet effet se reconnaît au claquement des éclisses, et avant que ce phénomène se produise, à la trace d'oxyde que l'écrou laisse sur l'éclisse. On parvient à arrêter ce mouvement et à ménager en même temps les filets des boulons, en prenant la précaution de repasser souvent le serrage des écrous, pendant quelque temps après une pose neuve (242) et en employant les rondelles en fer qu'on interpose entre l'éclisse et l'écrou. Ces rondelles peuvent suppléer au défaut de longueur de la partie filetée, et atténuer les imperfections de la fabrication des boulons, etc.

Quelques ingénieurs se servent de deux écrous superposés, mais l'emploi de ces deux pièces demande certaines précautions que négligent souvent les hommes d'équipe : ainsi, il ne faut pas serrer ou desserrer les deux écrous à la fois, mais séparément ; sans cela le filet se trouve promptement mis hors d'usage.

Les écrous se placent souvent à l'extérieur de la voie, lorsque l'on craint le choc des boudins des roues contre les écrous ou les boulons. Sur les chemins

où l'on tient le ballast à la hauteur du champignon supérieur, il faut, pour les surveiller et les serrer au besoin, repousser le ballast à une certaine distance de l'éclisse. De là, remaniement fréquent du ballast, introduction de corps étrangers dans les filets de taraudage, présence de l'eau vers les traverses de joint ; toutes causes de surcroît de travail qu'on supprime en plaçant les écrous à l'intérieur de la voie.

Cette dernière disposition en facilite d'ailleurs la vérification par une seule tournée entre les deux files de rails de la voie, mais il serait fâcheux, sous prétexte de faciliter la surveillance, comme le conseillent certaines personnes, de tourner tous les écrous de manière à présenter une position uniforme. Si les pans d'écrous avaient tous la même position, ce serait un hasard que le serrage des boulons fut uniformément égal, il faut tenir les écrous dans la position quelconque réclamée par le serrage.

L'usage des clés à écrou d'un modèle uniforme est très important, et pour simplifier les types de matériel et pour ménager les boulons. La figure 303 B donne les dimensions d'une clé à écrou qui répond très bien au but proposé. L'autre outil, représenté par la figure 303 A, est une clé à douille pour la manœuvre des tire-fond.

Remarque. — Le sulfate de cuivre employé pour la conservation des traverses, doit, avons-nous dit précédemment, être très pur et sans réaction acide, sinon les parties du bois qui environnent les attaches en fer se décomposent rapidement et se transforment en une matière spongieuse, charbonnée, sans consistance. Pour remédier à ce grave défaut, on recouvre les attaches d'une couche de cuivre métallique susceptible de prendre le poli, ainsi préparées les attaches ne présentent plus les mêmes difficultés à l'emploi que lorsque le fer est recouvert de zinc, et le bois conserve toutes ses qualités.

254 — Entretien des rails. — Au bout d'une certaine période d'emploi qui varie avec la résistance des rails, leur qualité, les soins apportés à l'entretien de la voie d'une part, avec la vitesse, le nombre et le tonnage des trains, le poids des machines et surtout la charge des essieux moteurs, d'autre part, les rails subissent des modifications dans leur pose, leur profil, leur texture, etc.

La circulation des trains fait cheminer les rails dans le sens de la pente sur les parties inclinées et dans la direction de la marche des trains sur les portions de ligne en palier. Cette progression des rails est tellement marquée, que, si l'on n'y portait pas remède, leurs extrémités ne tarderaient pas à quitter les traverses de joint. C'est par la *division des joints* qu'on replace les rails

dans leur position normale, opération qui nécessite la *dépose des rails*. Il ne faut employer que ce procédé pour rétablir la voie en état de viabilité, et ne jamais *riper* les traverses de joint sous les abouts des rails ; ce dernier moyen aurait pour conséquence de changer l'assiette des traverses et de modifier les portées des rails, ce qui en compromettrait la résistance. On conçoit, d'après ce qui précède, combien le travail d'entretien est aggravé par le glissement des rails.

Nous avons indiqué plus haut les précautions que l'on pouvait prendre dans le coinçage pour s'opposer à ce mouvement. Malgré les soins apportés à cette opération, lorsque les rails continuent à glisser, on peut employer l'un des moyens qne nous avons indiqués (224 et 238) quand le rail est à patin ou lorsque les joints sont munis de coussinets-éclisses ; s'ils reposent simplement dans des coussinets de joint ordinaires, ou si les éclisses sont en porte-à-faux, on arrête le glissement en perçant le rail d'un trou à côté d'un ou de plusieurs coussinets intermédiaires et en plaçant dans ce trou un goujon maintenu par le coin (fig. 312). Cette opération, que la Compagnie de l'Ouest a exécuté sur les lignes non éclissées, s'est faite entièrement sur place, l'équipe retirait un rail et le remplaçait au fur et à mesure par un rail déjà percé. Le coin doit toujours être assez long pour recouvrir la tête du goujon et le maintenir en position.

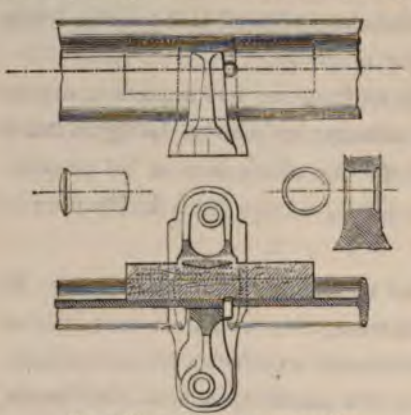


Fig. 312. — Goujon pour arrêter le glissement des rails (1/20).

Pour conserver aux rails la faculté de se dilater, il faut ménager entre leurs abouts l'espacement prescrit (233). Quand donc on *divise les joints*, et en général quand on *dépose* un rail, il faut prendre les précautions indiquées précédemment à ce sujet, sinon la dilatation pourrait faire dévier les rails de leur direction, et en cas de remplacement d'un rail avarié par un rail neuf de longueur normale, celui-ci ne pourrait plus entrer dans l'intervalle laissé par le rail auquel il est substitué. Nous renvoyons à nos observations précédentes (244) pour les précautions à prendre au sujet des rails coupés.

Lorsque par un temps sec on examine les deux files de rails d'une voie où la circulation est active, on remarque sur les champignons une bande plus

brillante que le reste de la surface ; en pose normale et avec des rails sains, cette bande doit avoir une largeur sensiblement uniforme, car elle est la trace du roulement des bandages.

Dans la pratique, cette zone est loin de présenter toute la régularité désirable ; elle se jette tantôt vers le dedans, tantôt vers le dehors de la voie ; au lieu de conserver la largeur normale, elle s'étend soit à droite, soit à gauche de l'axe des rails, quelquefois des deux côtés à la fois.

Ces variations dans la direction et la largeur de la zone de roulement sont autant d'indices de dérangement dans la construction de la voie. Si la zone est déplacée latéralement, on est averti par là qu'il y a, soit abaissement de l'une des deux files de rails, soit modification dans leur écartement, soit enfin changement d'inclinaison par rapport à l'axe. Ces modifications peuvent provenir, tantôt de dérangement dans les attaches ou supports des rails, tantôt de flexion des traverses dans le sens concave ou convexe ; on doit donc immédiatement s'en assurer au moyen des niveaux pour le premier cas, et du gabarit de pose pour le second.

Si la zone de roulement s'élargit, la question est plus sérieuse car il y a indice d'écrasement du rail, d'aplatissement du champignon, détériorations entraînant avec elles des conséquences désastreuses pour la solidité de la voie : dessoudures ou exfoliations ou fente longitudinale et enfin rupture, suivant la nature du métal.

L'attention la plus scrupuleuse doit donc être portée sur l'état des rails. Quand un champignon commence à s'écraser sur un des côtés, il ne faut pas hésiter à le retourner, de manière à utiliser pour la résistance à la flexion ce qu'il peut encore conserver d'intact dans la partie avariée. Les exfoliations qui se produisent aux rails en fer doivent être arrêtées en détachant avec le ciseau à froid jusqu'au vif, les parties arrachées et en abattant soigneusement l'angle de la section. Si l'on ne prenait pas la précaution d'enlever ces lanières, le passage des véhicules pourrait les arracher et occasionner des accidents. Ces observations ont leur intérêt, les rails en fer existant encore sur quelques voies anciennes.

Quand les abouts des rails ne correspondent pas exactement entre eux sur tout le périmètre des sections, il faut enlever au burin les parties saillantes.

Les rails posés sur coussinets de fonte prennent l'empreinte de la semelle après un certain temps de service qui varie avec le poids des véhicules de la ligne et la dureté du fer. Quand le rail ne comporte pas le retournement, comme le rail à champignons inégaux par exemple, l'empreinte peut devenir profonde sans qu'il en résulte d'inconvénient pour la circulation ; mais lors-

que le rail est à champignons symétriques et susceptible d'être utilisé sur ses quatre faces, il ne faut pas tarder à le retourner, dès que l'incrustation se manifeste, même légèrement. Nous sommes d'avis que ce déplacement des rails devrait avoir lieu périodiquement, et aux époques correspondant à la durée probable des rails, de manière à les user aussi également que possible sur toutes leurs faces.

255. — Bris des rails. — En dehors de l'usure normale des rails, il se produit accidentellement des détériorations brusques qui obligent à retirer les rails de la voie, si on s'en aperçoit à temps, ou qui occasionnent des ruptures de la voie avec toutes ses conséquences, dans le cas contraire.

La nature même de ces brisures, les conditions dans lesquelles elles se produisent, ont donné lieu de tous temps à l'étude et à l'examen des ingénieurs.

Les bris de rail sont dus à des causes diverses et on n'est pas encore bien d'accord sur l'importance et l'influence de chacune d'elles.

La charge supportée par les essieux est naturellement une des principales causes de rupture, puisque l'effort maximum supporté par le rail est proportionnel à cette charge.

La vitesse maximum des machines et le nombre des trains viennent ensuite.

Il faut remarquer, que c'est surtout le passage des machines qui fatigue les rails, et que par suite, pour un même tonnage annuel et des machines ayant la même charge par essieu, les rails souffriront plus du passage d'un plus grand nombre de trains.

Les températures basses, ainsi que l'étendue des variations de température, ont également une certaine influence sur le nombre des ruptures.

Enfin, il convient de noter aussi le mode de fabrication du métal, la qualité du ballast, son élasticité, la consistance du sous-sol, et la nature des traverses, en bois ou en métal.

Depuis de nombreuses années déjà, on s'est aperçu que des ruptures se produisaient au droit des trous des boulons d'éclisses, lorsqu'ils avaient été percés au poinçon, et depuis, on exige leur forage à la machine. L'encochage des patins de rails Vignoles est une cause d'affaiblissement de la section à un endroit fatigué, et des ruptures plus fréquentes sont constatées en ces points.

M. Brika, ingénieur en chef des chemins de fer de l'État Français, a remarqué que les rails à double champignon prenaient, au passage des trains, des flèches moindres lorsqu'ils étaient serrés par des coins métalliques que lorsqu'ils étaient maintenus par des coins en bois, et il doit certainement en résulter une certaine influence sur les ruptures.

Les premières précautions sont à prendre pendant la fabrication des rails, et il est indispensable de s'assurer par des analyses nombreuses et répétées, que la proportion de phosphore contenue dans l'acier n'atteint pas le chiffre fixé, l'influence de ce métalloïde étant parfaitement établie.

Pendant l'exploitation, on devra s'assurer que les rails ne sont pas soumis à un excès de travail, soit par insuffisance de profil, soit par suite de l'écartement des traverses, eu égard aux modifications apportées dans la composition des trains. Il est important de relever le poids de l'essieu le plus chargé.

En résumé, c'est par une surveillance constante de l'ensemble de la voie, de ses conditions d'établissement, de sa tenue, que le service de l'entretien pourra prévoir les points où des ruptures subites pourraient se produire, et par conséquent prendre en temps opportun les mesures nécessaires.

Il convient donc de pouvoir relever aux endroits fatigués et à époques régulières, le profil des rails afin de se rendre compte de l'usure.

Dans ce but, M. Napoli a établi un appareil nommé profilographe, qui permet de tracer le profil du rail en place sans rien déranger à la voie. Cet appareil est appelé à rendre certains services.

En effet, les rails de la voie se rompent quelquefois sans avoir donné de signes extérieurs de détérioration, et cet accident provient généralement de chocs produits par le dérangement de quelque pièce du matériel roulant. Il faut donc avoir dans tous les cas, sous la main, des rails de rechange, afin de rétablir sans retard la circulation des trains.

Remplacement des rails. — Les rails de rechange sont conservés sur des râteliers en bois installés le long des accotements de la voie. La figure 313 représente en plan, coupe et élévation, les anciens poteaux-râteliers de la voie des chemins de fer de l'Est. Les rainures sont disposées de telle sorte que l'enlèvement d'un rail n'est possible qu'en retirant une broche cadenassée traversant la mortaise par laquelle on introduit les rails dans le râtelier.

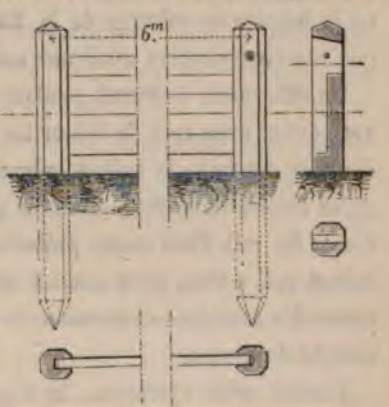


Fig. 313. — Râtelier à rails (1/50).

On a remplacé depuis quelques temps ce râtelier vertical par deux chantiers horizontaux à rainures, masquées par des tringles assujetties à l'aide d'un cadenas. Cet appareil n'est pas commode et la manœuvre devient fatigante.

256. — Redressement de la voie. — Lorsque les trains ont circulé sur la voie pendant un laps de temps dont la durée dépend de la solidité de l'infrastructure du chemin, de la qualité et du profil du ballast, enfin des soins apportés à l'entretien journalier, le chemin quitte son plan de pose primitif et présente une série d'ondulations verticales et horizontales plus ou moins prononcées, sans que l'on puisse constater d'avaries dans les éléments qui composent la voie. Le dérangement provient, soit de tassements partiels ou généraux, soit de la disparition du ballast qui n'a plus l'épaisseur voulue. Il faut alors procéder au *relevage partiel* ou au *ripage*, soit enfin au *relevage en grand* de la voie.

Relevage partiel et ripage. — Cette opération s'applique à une petite portion d'une voie qui a subi un léger tassement dans le sens vertical ou un déplacement latéral. Elle consiste à dégarnir de ballast l'une des faces longitudinales seulement des traverses tassées, à bourrer ces billes progressivement jusqu'à ce que les rails remontent à la cote du plan de pose prescrit, et à les repousser avec les pinces jusqu'à l'alignement voulu.

On commence le travail du côté par lequel les trains arrivent, en ayant soin de ne pas relever de plus de un demi à un centimètre à la fois, et de répartir cette saillie sur une longueur d'un ou deux rails.

Lorsque ce travail est exécuté, on regarnit les traverses en donnant au ballast le profil déterminé.

Quand on procède à un relevage, il faut avoir égard à la position respective des rails en courbe, et si la file intérieure se présente dans des conditions telles qu'avec un léger bourrage elle puisse prendre la position convenable, on se bornera au relevage de la file extérieure seulement. La moitié de chaque traverse conserve ainsi une assise que le temps a consolidée.

En effectuant ce travail pendant la circulation des trains, les poseurs doivent éviter avec soin de laisser les outils ou matériaux à moins de $1^{m},50$ de distance des rails; le ballast enlevé entre les deux rails ne peut être déposé qu'en dehors de la voie, et en tas qui ne dépassent pas $0^{m},25$ de hauteur au-dessus du rail. Sous aucun prétexte, on ne doit tolérer l'amoncellement du ballast sur a voie, parce que les sables peuvent s'introduire dans les pièces basses des machines et occasionner des dérangements ou des entraves dans la marche des trains.

Durant cette opération, le signal de ralentissement doit être fait aux machinistes.

Relevage en grand. — Lorsque les remblais ont subi des tassements considérables qui changent la distribution des pentes et rampes de la

voie, généralement on procède au *relevage en grand*, travail qui a pour but de rétablir les rails au niveau qui leur est assigné par le profil en long.

Cette opération doit être précédée d'un nivellement de la section et d'un piquetage nouveau, si la ligne n'a pas conservé le piquetage primitif. Cependant avant de décider l'exécution de ce remaniement, qui donne pendant un certain temps un surcroît de difficultés d'entretien analogues à celles qui suivent une pose nouvelle, il faut, par un nivellement préalable, relever la position des rails et s'assurer que la nouvelle distribution des pentes et rampes n'aggrave pas sensiblement les conditions d'exploitation, autrement dit que les nouvelles inclinaisons générales ne dépassent pas les inclinaisons maxima de la section de la ligne.

Quand un relevage est reconnu nécessaire, il faut, en piquetant la voie à nouveau, avoir égard à la position des ouvrages d'art en dessous et en dessus des rails ; en dessous, pour ménager entre la face inférieure des traverses et l'ouvrage une épaisseur d'au moins $0^m,25$ de ballast ; en dessus, pour conserver entre les rails et les faces inférieures et latérales de l'ouvrage, la distance nécessaire au passage du gabarit de chargement. Cette observation doit surtout s'appliquer aux voies dans les courbes. (48) (238).

Le travail du relevage étant décidé, on réunit sur la partie à réparer plusieurs équipes de cantonniers, de poseurs et même d'ouvriers auxiliaires. On doit alors procéder par relevages partiels successifs, dont chacun n'excède pas 3 ou 4 centimètres. Le relevage s'exécute comme pour le réglage d'une pose neuve au moyen des anspects, pinces et bourroirs. Le raccordement de la voie relevée avec la partie de la voie laissée en place doit se faire au moyen de plans inclinés ayant quatre ou cinq longueurs de rails, dont le bourrage doit être bien soigné pour éviter la flexion.

Il est inutile d'ajouter que toutes les précautions réglementaires relatives à la distance des outils et des matériaux sur la voie, aux signaux et aux autres mesures prescrites, doivent être scrupuleusement observées.

257. — Entretien des passages à niveau. — Ces parties de ligne demandent une surveillance et un entretien plus scrupuleux que le reste de la voie courante. Les rails y ont à supporter la fatigue et les détériorations qui proviennent des véhicules du chemin de fer et de la route de terre, la chaussée se dégrade, les rainures se remplissent de corps étrangers dont l'accumulation peut produire le soulèvement des boudins des roues et amener un déraillement.

Il faut tenir parfaitement propre la surface des rails et des contre-rails ; débarrasser les rainures des corps étrangers, feuilles mortes, neige, glace etc., etc., et nettoyer la surface de la chaussée.

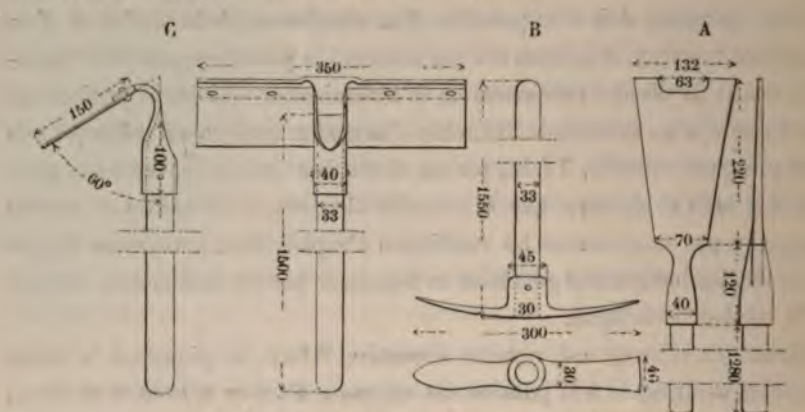


Fig. 314. — Outils pour l'entretien des passages à niveau, (1/10).

La figure 314 A représente l'outil qui sert à nettoyer la surface des rails.

Le nettoyage de la rainure s'opère au moyen de l'outil représenté par la figure 314 B.

Enfin on débarrasse la chaussée des corps qui peuvent l'encombrer avec la râtissoire figure 314 C.

Il faut, en outre, arroser et balayer constamment les passages à niveau fréquentés, qui sont très souvent recouverts de poussière ; sans cette précaution, la poussière se soulève pendant la circulation des trains, et pénètre dans le mécanisme et l'intérieur des véhicules.

258. — Entretien de la voie en hiver. — A l'approche de la saison d'hiver, le service de l'entretien et de la surveillance doit redoubler d'activité pour diminuer, autant que possible, les effets sur la voie de la chute des feuilles et des perturbations atmosphériques telles que les brouillards, la neige, le verglas, la gelée, les grandes pluies d'automne et de printemps.

A l'époque de leur chute, les feuilles s'amoncellent souvent au point de couvrir les rails, principalement dans les tranchées profondes, ce qui a pour effet de diminuer et même d'annuler l'adhérence des roues motrices ou l'action des freins. Les gardes doivent alors nettoyer la surface des rails et veiller à ce qu'elle reste toujours à découvert.

Les brouillards rendent les rails gras, glissants, et font *patiner* les roues

des véhicules. Pour donner aux roues motrices l'adhérence nécessaire, les mécaniciens laissent agir l'appareil à sable dont toutes les machines doivent être munies. Cet appareil destiné à répandre du sable à la surface des rails, sert en temps ordinaire, à augmenter l'adhérence des roues motrices à la remonte ou l'action des freins à la descente. Il peut n'être pas suffisant en temps de brouillard, et, sur certaines lignes, les gardes sont chargés de répandre du sable sec sur les rails, à l'aide d'un petit réservoir muni d'un long tube.

Une mesure à recommander est en usage à la Compagnie du Nord français, elle consiste à munir les deux *chasse-pierres* de la machine d'un balai frottant sur les rails.

Le verglas produit également le patinage des roues et demande l'application de mesures analogues. En Saxe, lorsque, par un temps froid et une pluie continuelle, le verglas se forme avec une grande rapidité, on fait circuler en pilote une machine de réserve pour briser la glace, notamment dans les parties de lignes en rampe.

Lorsque le temps menace de se mettre à la gelée, surtout si la couronne du ballast a la forme indiquée par la figure 210, les gardes-ligne et poseurs dégagent le ballast à l'intérieur des rails, sur une hauteur permettant aux boudins des roues de passer librement. Les eaux, qui pourraient se geler et former un obstacle résistant, sont également détournées, enfin toutes les mesures doivent être prises pour que les roues des véhicules portent bien directement sur les rails et non sur le ballast, sur la neige durcie ou l'eau congelée.

Ces précautions s'appliquent d'ailleurs aux passages à niveau et à tous les appareils de la voie : changements, croisements, plaques tournantes, etc.

Vers le mois de novembre en France, ou plus tôt s'il y a lieu, on s'occupe de la pose des paraneiges sur les points indiqués par les observations précédentes.

Indépendamment des moyens préventifs indiqués (38), il faut organiser les moyens d'action propres à faire disparaître les encombrements de neige.

Pour assurer la prompte arrivée des secours sur les points menacés, les chefs de section doivent, avant l'époque précitée, s'informer du nombre approximatif d'hommes que pourraient leur fournir les villages riverains du chemin de fer, surtout dans les localités voisines des points où la neige s'accumule le plus habituellement.

Dès que la neige commence à tomber, si elle n'est qu'imminente, un service de nuit sera organisé dans chaque section. A chacun des gardes-ligne, on ad-

joindra deux hommes choisis de préférence parmi les équipes de l'entretien, en assignant par exemple, à chaque garde un parcours de surveillance de trois kilomètres environ. La surveillance du garde-ligne et des deux auxiliaires sera incessante et portera principalement sur les localités signalées comme les plus exposées. En temps ordinaire, ils parviendront, en employant la pelle et le rateau (fig. 315), à débarrasser les voies, si la neige est peu abondante. Mais aussitôt qu'elle leur semblera s'amonceler sur un point quelconque de la ligne, en quantité assez considérable pour neutraliser leurs efforts, ils devront appeler à leur aide les ouvriers supplémentaires désignés d'avance et signaler aux stations voisines l'encombrement de la voie.

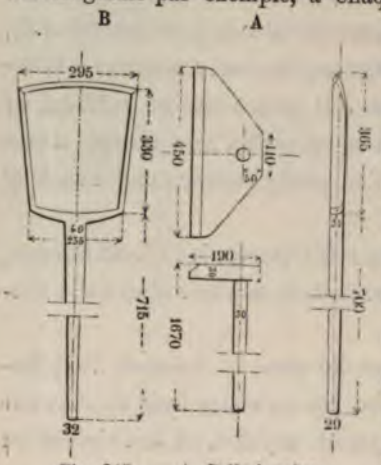


Fig. 315. — A. Pelle à neige. B. Rateau (1/20).

Lorsque la neige ne s'élève qu'à une faible hauteur sans être trop serrée, les ouvriers l'enlèvent de la surface des rails au fur et à mesure de sa chute. Les trains peuvent d'ailleurs circuler sur une voie couverte de $0^m,25$ de neige, mais il faut toutefois débarrasser la plate-forme, soit à bras, soit à l'aide du chasse-neige, sans quoi, si la chute se prolonge, les ornières formées finiraient par se remplir, surtout pendant un froid très vif.

Les charrues à neige, que l'on place en tête des trains permettent de frayer la voie quand elle est couverte d'une couche de neige d'une épaisseur inférieure à $1^m,50$. On traverse quelquefois des encombrements beaucoup plus considérables (2 à 4 mètres), mais de peu d'étendue, et en employant des chasse-neige de dispositions et dimensions spéciales, dont nous donnons ailleurs la description. — *Locomotion, matériel roulant.* — Pour franchir un obstacle d'une certaine longueur, il faut élever la tension de la vapeur au maximum afin que la machine profite de toute la puissance qui lui reste, la vitesse faisant défaut dans ce cas.

Comme nous l'avons vu précédemment, l'exploitation peut être entravée quand le vent chasse directement la neige des champs dans les tranchées. Ce cas se présente surtout quand la neige accompagnée d'un grand vent, tombe par une basse température. Alors toutes les mesures employées pour détruire les encombrements sont inutiles, car la neige est ramenée, au fur et à mesure, par le vent, vers le point que la pelle ou le traîneau lui a fait quitter. Souvent même la charrue à neige est une cause d'embarras : quand la neige

est légère et en mouvement, elle se ramasse en arrière de l'appareil, si elle est humide, elle se pelotonne en avant et l'encombre ; en un mot, le chasse-neige ne peut plus ni avancer ni reculer.

Dans le Nord de l'Allemagne, l'Administration s'est souvent résignée pendant les tourmentes de neige, à suspendre l'exploitation, car les traîneaux, charrues, etc., ne sont plus d'aucun secours. Sur les chemins du Nord et de l'Est de la Prusse, on a vu six locomotives arrêtées dans la neige, avec un froid de 16° Réaumur. A cette température, les pompes se congèlent et les roues des machines patinent sous l'influence de petits coins de glace que l'on ne peut enlever. La tourmente se maintient rarement dans toute son intensité au-delà d'un jour ou deux ; le retour du calme permet de déblayer la voie à bras d'hommes.

Lorsque la neige, très dense, s'élève à une grande hauteur, les charrues à neige ne suffisent plus pour frayer la voie, et la main de l'homme devient indispensable pour rétablir la circulation.

Dans la traversée de l'Alp-Souabe en Bavière, une ou deux heures après que l'orage a éclaté, la neige devient très abondante. C'est alors que chaque garde-ligne et les deux hommes qui l'accompagnent vont appeler les ouvriers supplémentaires environnants. Les listes étant dressées à l'avance, ces ouvriers se rendent immédiatement aux points qui leur ont été signalés comme les plus habituellement encombrés.

Les brigades réunies attaquent la neige en ouvrant, dans toute l'épaisseur de la couche, une cunette (fig. 316-1) de la largeur d'une des voies. On choisit naturellement la voie la moins encombrée ou celle sur laquelle doivent arriver les premiers trains. Quand cette voie est ainsi déblayée, on fait avancer une machine précédée d'un chasse-neige qui élargit la base de la cunette

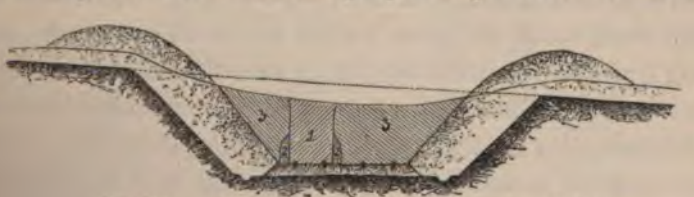


Fig. 316. — Enlèvement des neiges en tranchée (1/400).

(fig. 316-2). Les trains peuvent alors traverser la tranchée, les hommes ont soin de pratiquer de petites niches dans la neige, pour se garer des trains qui, du reste, doivent toujours annoncer leur arrivée au moyen du sifflet. Les ouvriers déblayent enfin à la pelle, toute la plate-forme du ballast de chaque côté de la cunette (fig. 316-3).

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

moins exercés, et l'arrêt des trains se prolonge quelquefois pendant un et même deux jours.

Sur l'avis donné par les gardes, des encombrements de neige, les chefs de stations voisines avertissent les gares principales, arrêtent tous les trains, abritent les voyageurs en pourvoyant à leurs besoins, et enfin ne rétablissent la circulation qu'après le déblaiement de la voie.

Remarque. — Dans chaque section d'une ligne en exploitation, il devra être tenu un état de renseignements quotidiens touchant les variations météoriques et sur les différentes conséquences que ces variations ont exercées

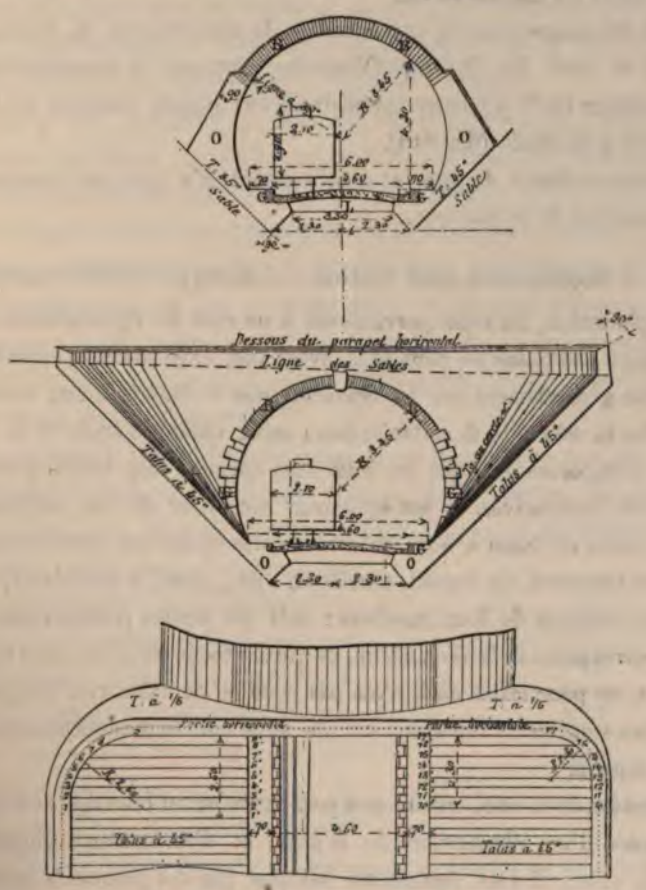


Fig. 318. — Parasable (1/250).

sur les voies. Cet état indiquera pour les points principaux, la direction du vent et l'influence des pluies, de la neige, des brouillards, etc. Ces renseignements sont précieux pour le service des années suivantes, car il est inté-

ressant de connaître par quel vent, à quelle époque, dans quelles circonstances enfin, tel ou tel point des voies doit être surveillé plus spécialement. Ces données permettent en peu de temps de combattre, avec quelque certitude de succès, les accumulations de neige et de leur opposer, en toute connaissance de cause, les moyens de préservation appliqués d'abord en tâtonnant et presque au hasard.

Ensablement des voies. — En Algérie, la voie ferrée s'est quelquefois trouvée recouverte des sables entraînés par un vent violent et provenant des dunes voisines du chemin de fer.

Dans le but de prévenir les conséquences de ces accidents, M. Ribeaucourt, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, a proposé la construction d'ouvrages spéciaux (qu'il a nommés arénaducs) aux points menacés de la ligne de Djidjelli à El Milia (fig. 318).

Ce système coûteux de premier établissement n'a pas que nous sachions reçu la sanction de la pratique.

259. — Réfection des voies. — Après un certain nombre d'années d'exploitation, les voies parviennent à un état de détérioration tel que la circulation des trains ne peut plus avoir lieu avec toute la sécurité désirable. C'est généralement par les traverses que le dépérissement commence, et par suite la nécessité de substitution ; mais, quand le trafic de la ligne a pris plus d'importance et que les rails sont devenus trop faibles par rapport au poids des locomotives, il est également nécessaire de les remplacer ; on s'arrange alors de façon à faire coïncider cette opération avec le renouvellement des traverses. Ce travail, partiel ou total, prend le nom de *réfection*, il peut être effectué de deux manières : soit par petites portions successives et sans interruption de la circulation, ce qui est toujours le cas pour les lignes à une voie, ou pour celles où il n'est pas possible de faire voie unique ; soit par grandes sections en reportant sur une seule voie le mouvement des trains pairs et impairs.

La réfection de la voie, comme une pose neuve ou un relevage, doit toujours être précédée d'un nivellement de la ligne et d'un nouveau piquetage de l'axe de la voie ; il faut également indiquer par des piquets la hauteur de chacune des files de rails, leur écartement dans les courbes, l'inclinaison des pentes et rampes à rétablir, etc. (Annexe P.)

I. — S'il s'agit de renouveler une voie sur laquelle la circulation ne peut pas être interrompue, on commence par apporter et ranger sur les ac-

cotements les matériaux neufs, en les répartissant de manière qu'ils se trouvent vis à vis du lieu d'emploi.

Ce transport s'effectue par des trains de nuit, si la circulation n'a lieu que de jour; dans le cas contraire, les matériaux sont amenés par vagons attelés aux trains de marchandises jusqu'à la station la plus voisine du lieu d'emploi, puis de là transportés sur vagonnets ou lorrys.

Le transport effectué, les ouvriers attachés au service de l'entretien, et les auxiliaires qui leur sont adjoints pour le temps de la réfection, dégarnissent les traverses de ballast. Si les portées des rails ne doivent pas être changées, on dégarnit simplement le dessus et les faces verticales des traverses à remplacer, en ayant soin de conserver intacte l'assiette solide des anciennes traverses, surtout si la voie n'a pas besoin d'un relevage.

Dans le cas contraire, il faut enlever complètement toute la couche supérieure du ballast jusqu'au dessous de la face inférieure des traverses. Ces opérations ne se font d'ailleurs que par portions de voie d'une longueur telle que les vieux rails puissent être enlevés, les nouveaux reposés sur leurs traverses, et la continuité de la voie rétablie entre deux passages de trains. Le ballast étant rejeté sur les accotements, les vieux rails détachés, les vieilles traverses enlevées et déposées en dehors de la voie, les traverses neuves sont placées aux écartements fixés, les rails neufs posés bout à bout et immédiatement garnis de leurs éclisses.

Pour alléger le travail de pose, nous avons employé un porte-rail composé d'une barre en bois armée de deux chaînes, dont l'une est terminée par un goujon (fig. 319). Pour s'en servir, on passe le goujon en dessous du rail et on le fait entrer dans le dernier anneau de l'autre chaîne; en soulevant la barre, le rail est suspendu à quelques mètres du sol; il peut ainsi être transporté et déposé facilement à la place voulue sans que les ouvriers soient gênés dans leurs mouvements par la crainte des accidents qui sont fréquents lorsque la manœuvre des rails est faite sans le secours de cet outil.

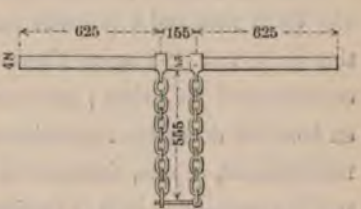


Fig. 319. — Porte-rail, (3/100).

Les extrémités des rails sont fixées sur des traverses de joint, et les traverses intermédiaires suffisamment bourrées pour que les rails reposent également sur toute leur longueur. Cette partie du travail doit être poussée vigoureusement, car elle a pour but de rétablir la continuité de la voie et de livrer passage à tous les trains qui peuvent se présenter. Une fois les rails

assis sur la voie, on se hâte de terminer leur attache sur les traverses intermédiaires ; vient alors le dressage en plan et en hauteur, qui se fait d'après les piquets posés à l'avance. Quand toutes les traverses sont bourrées, on remblaye le ballast mis de côté, en donnant à sa surface le profil adopté.

Les vieux matériaux sont alors enlevés en suivant la marche inverse des transports de matériaux neufs au lieu d'emploi.

Nous n'avons pas besoin d'ajouter que ces travaux doivent être conduits avec la plus grande activité alliée à la plus *extrême prudence*.

Le chef d'équipe chargé de diriger les chantiers connaît nécessairement tous les détails du service de l'entretien. Il est muni de l'instruction relative aux signaux, du tableau de marche des trains, dont il a d'ailleurs une parfaite connaissance. Avant de commencer la démolition de la voie, il a envoyé de chaque côté du chantier un ouvrier porteur de signaux que tout train survenant doit respecter pendant que les rails sont enlevés, il fait arborer le signal *rouge (arrêt)* ; quand les rails sont replacés, il suffit de montrer aux machinistes le signal de ralentissement. Sur le chantier même, le chef d'équipe a toujours sous la main les signaux qui lui permettent d'indiquer aux trains le ralentissement ou l'arrêt. Ces signaux consistent en drapeaux, voyants, et feux de différentes couleurs (fig. 320).

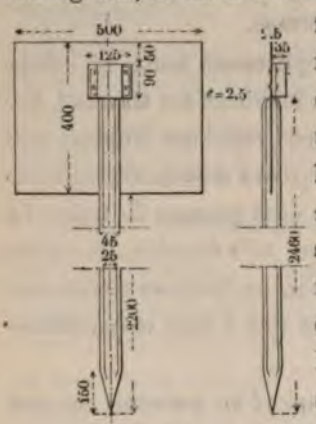


Fig. 320.
Voyant porte-lanterne (1/20).

Enfin les travaux de cette espèce exigent la surveillance d'un agent du service de la voie, qui a la haute main sur tous les hommes occupés à la réfection de la voie. Cet agent s'assure que toutes les mesures de précaution ont constamment été prises ; que tous les hommes présents sur les chantiers sont en bon état de santé et parfaitement sobres, qu'ils obéissent à tous les commandements, et que, notamment lors du passage des trains, ils se tiennent sur l'accotement et hors d'atteinte des véhicules, que le ballast et les matériaux sont toujours rangés à une distance telle qu'ils ne puissent pas toucher et endommager les machines et les vagons, etc.

L'importance de la main-d'œuvre dans la réfection de la voie ressort des données suivantes, prises comme exemple :

On avait partagé en deux sections le renouvellement d'une division de ligne de premier ordre. Deux ateliers établis dans la première travaillèrent 237 jours pour refaire 78,210 mètres de voie, soit 330 mètres par jour. Le nombre

d'ouvriers ayant été de 89,66 par jour, chaque homme produisit 3 mètres 68. Le travail de la deuxième section dura 69 jours, pour refaire 16,476 mètres de voie, soit 238^{m},76 par jour ; mais on n'y occupa plus que 62 hommes en moyenne : le travail quotidien de chacun d'eux fut donc de 3^{m},85.

D'après cet exemple, on peut, en évaluant à 3 ou 4 mètres le travail journalier de chaque homme, se rendre compte approximativement du nombre d'ouvriers nécessaires pour effectuer, dans un temps donné, la réfection d'une voie de longueur déterminée.

Nous résumons ici les dépenses occasionnées par la réfection de 16,330 mètres de voie, sur une section d'un chemin de première importance, et où, ne pouvant pas faire voie unique, on dut opérer par portions successives entre le passage des trains. Les rails primitifs avaient 4^{m},50 de longueur, pesaient 37,50 le mètre courant et étaient supportés par 4 traverses. Les nouveaux rails avaient 6 mètres, pesaient 36 kilogrammes et reposaient sur 6 traverses. Le tableau suivant ne comprend que les frais de main-d'œuvre ; les dépenses se rapportent aux voies en rails Vignoles ou à champignons symétriques éclissés, le prix de revient étant le même dans les deux cas.

Réfection de 16,330 mètres de voie sur le chemin de fer de. . . . . .
(Voie Vignoles).

DÉSIGNATION DES DÉPENSES	NOMBRE d'heures	PRODUITS partiels	DÉPENSES par article	DÉPENSES totales
		fr. c.	fr. c.	fr. c.
CHAPITRE Ier				
Réception aux chantiers				
ARTICLE PREMIER. — TRAVERSES				
Déchargement et rangement. . .	4.194		1.208,37	
ART. 2. — RAILS				
Déchargement et rangement. . .	3.441		1.472,81	
ART. 3. — ECLISSES, BOULONS TIRE-FOND				
Déchargement et rangement. . .	143		50,22	
				2.751,40
CHAPITRE II				
Préparation aux chantiers				
ARTICLE PREMIER. — TRAVERSES				
Rabotage.	4.846	1.701,77		
Perçage	5.615	1.971,82		
Goudronnage	788	276,72		
Rectification du sabotage. . . .	336	117,99		
			4.068,30	
ART. 2. — RAILS				
Perçage et coupage	386		155,55	
				4.203,85
CHAPITRE III				
Travaux préliminaires .				
ARTICLE PREMIER CHARGEMENT, TRANSPORT ET DISTRIBUTION A PIED D'ŒUVRE				
Traverses	3.275	2.399,26		
Rails.	2 214	1.621,90		
Eclisses, boulons, tire-fond . . .	279	204,39		
Journées de chauffeurs, mécaniciens, etc.	405		4.225,55	
ART. 2. — DÉMOLITION DE LA VOIE				
Dégarnissage	13.663		4.798,04	
Enlèvement des rails	908	318,86		
— traverses et coins.	2.451	860,72		
Rangement sur la voie	1.167	409,81		
			1.589,39	
				10.612,98
CHAPITRE IV				
Pose de la voie				
ARTICLE PREMIER POSE DE LA VOIE COURANTE				
Traverses	4.231	1.485,80		
Rails.	1.485	521,49		
A reporter		2007,29		17.548,23

DÉSIGNATION DES DÉPENSES	NOMBRE d'heures	PRODUITS partiels	DÉPENSES par article	DÉPENSES totales
		fr. c.	fr. c.	fr. c.
Reports . . .		2007,29		17.548,23
Pose des tire-fond.	1.101	386,64		
Boulonnage des éclisses	2.221	779,95		
Bourrage des traverses	4.037	1.417,67		
Regarnissage	6.097	2.141,08		
Relevage partiel et dressage. . .	10.615	2.727,67		
Règlement du ballast.	3.107	1.091,09		
			11.551,39	
ART. 2. — PASSAGES A NIVEAU (un passage)				
Dépose de l'ancien passage . . .	6	3,49		
Sabotage, assemblage des traverses.	78	29,67		
Pose	12	6,41		
			39,57	
ART. 3. — CHANGEMENTS ET CROISEMENTS (quatre)				
Dégarnissage et enlèvement des vieux matériaux.	545	191,39		
Chargement, déchargement, transport au dépôt de vieux matériaux.	307	167,81		
Châssis de changements et croisements	534	195,52		
Déchargement et rangement. . .	38	13,34		
Chargement, transport et distribution à pied-d'œuvre	53	78,61		
Pose	525	184,37		
Regarnissage, relevage partiel, dressage, réglement du ballast. . .	661	232,50		
			1.063,54	
CHAPITRE V *Rentrée des vieux matériaux* ARTICLE PREMIER				12.654,50
Dessabotage	805	282,69		
Chargement, déchargement, transport aux dépôts	10.838	4.823,54		
Rangement des matériaux . . .	17.905	6.287,70		
			11.393,93	
CHAPITRE VI *Frais Généraux* ARTICLE PREMIER				11.393,93
Tournées des chefs d'équipes. . .	2.237	785,56		
Signaux de jour et de nuit . . .	1.543	597,86		
Travaux de la forge (outillage) . .	981	589,50		
			1.972,92	1.972,92
				43.569,58

Prix de revient de la main-d'œuvre de réfection de 1 mètre courant de voie.

Frais de chargement et rangement au chantier	Bois.	0f,090
	Fer.	0,078
Préparation au chantier	Bois.	0,249
	Fer.	0,009
Chargement, transport et distribution à pied d'œuvre.	Bois.	0,147
	Fer.	0,110
Pose et dépose des changements et croisements		0,065
Démolition de l'ancienne voie		0,391
Pose de la nouvelle voie		0,707
Réfection des passages à niveau		0,003
Manutention des vieux matériaux		0,698
Frais généraux		0,120
Prix pour 1 mètre courant		2fr,667

II. — La réfection des lignes à deux voies sur lesquelles on peut faire une voie unique, est plus facile et moins coûteuse que la précédente.

L'opération commence par l'approvisionnement des matériaux neufs à côté de la voie à renouveler. On les range vis-à-vis du lieu de leur emploi, les rails placés bout à bout sur l'accotement et les traverses couchées sur le talus.

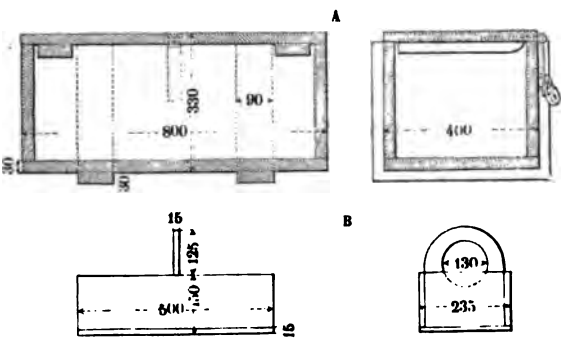


Fig. 321. — Caisses-magasin sur la ligne (1/20).

Les outils et le petit matériel sont déposés dans des caisses fermant à clé (fig. 321 A), et placés sous la surveillance d'un gardien.

La distribution des boulons, tire-fond, etc., se fait au moyen de la petite boîte (fig. 321 B).

Pendant ces préparatifs, on a disposé à chacune des extrémités de la section deux changements de voie qui permettent de faire passer tous les trains sur la voie unique.

On peut se contenter d'un seul changement à chaque extrémité, sauf, au

moment de l'interruption de la circulation sur la voie en réparation, à en riper quelques rails pour les mettre sur le prolongement du changement de voie.

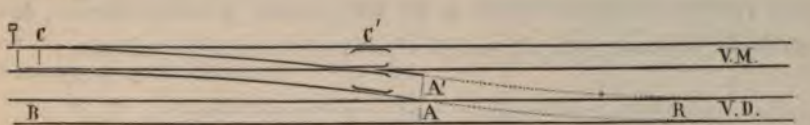


Fig. 322. — Établissement de la circulation sur voie unique, avec un seul changement de voie, 1/500.

S'il s'agit, par exemple, de procéder à la réfection de la voie impaire V D (fig. 322), on commence par poser sur la voie paire V M, entre deux passages de trains, le changement de voie C, puis le croisement de voie C', et on prolonge la communication de voie jusqu'au voisinage de la voie impaire V D. On fait en sorte que l'extrémité de la voie déviée A'C puisse aboutir aux derniers rails de la voie V D déplacés par un simple ripage des traverses de R A en R A', dès que l'on veut arrêter la circulation de la voie à réparer à partir de A vers B.

Toutes ces mesures étant prises, et l'accord établi entre les divers services, la circulation est portée toute entière sur la voie unique. On installe deux ou un plus grand nombre d'ateliers sur la section. Comme pour la pose, le travail se divise en plusieurs brigades : ballasteurs qui enlèvent le ballast jusqu'au niveau inférieur des traverses seulement, et qui le rechargent quand la voie est posée, bardeurs de rails et de traverses ; distributeurs d'éclisses, de boulons et tire-fond ; éclisseurs, cloueurs, tirefonneurs, bourreurs et dresseurs.

Nous complétons ces renseignements par le résumé des dépenses effectuées lors de la réfection de la première partie de la voie impaire de la ligne de Strasbourg à Bâle, en 1857.

La voie construite en 1839-1840, était formée de rails de $4^m,50$ de longueur, à double champignon, pesant 25 kilogrammes le mètre courant, supportés par cinq traverses uniformément espacées de $0^m,90$ d'axe en axe. Ces traverses avaient $2^m,35$ de longueur, et mesuraient en moyenne $0^{m^3},095$. Le ballast — sable et gravier d'excellente qualité, — avait $0^m,35$ de hauteur, avec encoffrement en terre, comme les lignes belges.

L'augmentation toujours croissante du trafic et du poids des machines avait considérablement fatigué la voie dans les dernières années. D'ailleurs les traverses étaient parvenues au terme de leur durée, et la force des rails ne

correspondait plus aux efforts auxquels ils étaient désormais soumis. La réfection des voies fut décidée en employant, pour la voie impaire, des traverses neuves en bois de chêne ou en bois préparé par le procédé Boucherie, et des rails Vignoles éclissés du poids de 36 kilogrammes le mètre courant, de 6 mètres de longueur, avec six portées réparties de la manière suivante :

1	2	3	4	5	6	1
0m,85	1m,05	1m,10	1m,10	1m,05	0m,85	

Les traverses ont 2 mètres 50 à 2 mètres 70 de longueur, 0m,13 à 0m,16 d'épaisseur, les traverses intermédiaires ayant 0m,22 à 0m,30 de largeur, et les traverses de joint 0m,31 à 0m,40.

Les traverses étaient reçues dans diverses stations et transportées de là aux chantiers de la ligne pour y être sabotées, percées et boulonnées au besoin.

Les rails livrés par les usines n'étaient ni percés, ni encochés, ni limés. Ces diverses opérations, coûteuses par les diverses manipulations qu'elles nécessitent sur les chantiers, sont aujourd'hui effectuées sans difficultés par les maîtres de forge, mais en 1856, les Compagnies n'étaient pas encore parvenues à les imposer aux fournisseurs.

Le tableau suivant donne la récapitulation de ces dépenses :

Ligne de Strasbourg à Bâle

État des dépenses de réfection de la voie impaire sur une longueur de 49 kil., 794 mètres.

DÉSIGNATION DES DÉPENSES	NOMBRE	PRIX	PRODUITS partiels	DÉPENSES partielles	DÉPENSES totales
		fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.
CHAPITRE Ier					
Transport et réception aux chantiers					
ARTICLE PREMIER.—TRAVERSES					
Chargement au lieu de réception	49.794	0,05	2.489.70		
Transport aux chantiers (1) . .		0,50	24.897.00		
Déchargement et empilage . .		0,05	2.489.70		
ART. 2. — RAILS				29.876.40	
Chargement au lieu de réception.	16.598	0,05	829.90		
Transport aux chantiers . . .		3,387	56.212.60		
Déchargement		0,05	829.70		
ART. 3. — ECLISSES, BOULONS ET CRAMPONS				57.872.40	
Chargement au lieu de réception.	232	1,00	232 00		
Transport aux chantiers (3) . .		11,60	2.691.20		
Déchargement, comptage et rangement.		1,00	232.00		
				3.155.20	
CHAPITRE II					90.904.00
Préparation aux chantiers					
ARTICLE PREMIER.—TRAVERSES					
Rabotage, main-d'œuvre (4) . .	49.794	0,056	2.792.90		
Entretien des machines . . .			692 60		
Perçage et boulonnage (5) . .			2.344 85		
Entretien de l'outillage . . .			103.35		
ART. 2. — RAILS				5.933.70	
Perçage (6): main-d'œuvre . .	16.598		5.347.20		
— entretien des outils.			872.00		
Encochage (7): main-d'œuvre .			1.195.55		
— entretien des outils.			142.90		
Chanfreinage des abouts (8). .			255.45		
				7.813.40	
CHAPITRE III					13.746.80
Travaux préliminaires à la pose					
ARTICLE PREMIER. — CHARGEMENT, TRANSPORT ET DÉCHARGEMENT A PIED-D'ŒUVRE					
Traverses (9)	49.794	0,11	5.477.35		
A reporter			5.477.35		104.650.80

DÉSIGNATION DES DÉPENSES	NOMBRE	PRIX	PRODUITS partiels	DÉPENSES partielles	DÉPENSES totales
		fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.
Report . . .			5.477.35		104.650.80
Rails (10)	16.598		1.825.80		
Eclisses, boulons, crampons (11).			591.20		
Rangement sur les accotements (journées).	1.556	1,90	2.955.65		
				10.850.00	
ART. 2. — EMBRANCHEMENT DE LA VOIE IMPAIRE SUR LA VOIE PAIRE					
Pose et dépose des changements de voie (8 sections)		161,64	1.293.00	1.293.00	
ART. 3. — DÉMOLITION DE LA VOIE					
Deballastage (journées) . . .	2768,50	1,80	4.983.55		
Démolition et classement des matériaux de la voie (journées) .	2240,75	2,00	4.481.45		
				9.465.00	
CHAPITRE IV					21 608.00
Pose de la voie					
ARTICLE PREMIER. — VOIE COURANTE					
Pose des traverses et des rails (journées).	1493,80	2.00	2.987.65		
Distribution des éclisses, boulons et crampons (journées). . .	132,00	1 50	198.20		
Pose des éclisses (journées) . .	746,60	2,00	1.493.80		
Clouage (journées).	1394,00	2,50	3.485.60		
Bourrage et dressage (journées).	3236,90	2,00	6.473.20		
Reballastage (journées) . . .	2436,60	1,80	4.386.00		
				19.024.45	
ART. 2. — PASSAGES A NIVEAU	104				
Sabotage des traverses . . .	666	0,62	412.00		
Courbage et perçage des contre-rails	222	2,91	646.80		
Pose des contre-rails	222	2,24	498.10		
Repavage			2.060 00		
				3.616.90	
					22.641.35
A reporter . . .					148.900.15

DÉSIGNATION DES DÉPENSES	NOMBRE	PRIX	PRODUITS partiels	DÉPENSES partielles	DÉPENSES totales
		fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c
Report . . .					148.900.15
CHAPITRE V					
Rentrée des vieux matériaux					
ARTICLE PREMIER					
Dessabotage des traverses, rangements des matériaux sur les accotements (journées). . .	3 034	1,90	5.760.50		
Déchargement aux dépôts (journées)	1 201	1,90	2.263.00		
Transport (nombre de trains) .	78	54,00	4.212.00		
Empilage et classement (journ).	1.287	1.90	2 450.09		
				14.685.50	
					14.685 50
CHAPITRE VI					
Frais Généraux			Traitement	Déplacements	
ARTICLE PREMIER					
Agents réceptionnaires du matériel de la voie . .			2.562		
Sous-chef de section.				121.00	
Gardes-chantiers			2.800	1.274.90	
Gardes et sous-chefs poseurs			1.665	191.50	
Piqueurs.					
Gardes-chefs pour (conduite des trains de matériaux).				186.00	
			7.027	1.930.95	8.957.95
Dépense totale. . . .					172.543.60

1. — Distance moyenne de transport : 100 kilomètres à 0 fr. 05 p. tonne et par kilomètre.

2. — 3569 tonnes, avec un parcours moyen, des usines aux chantiers, de 307 kilomètres.

3. — 232 kilomètres à 0 fr. 05 par tonne et par kilomètre.

4. — L'équipe d'une machine se compose de 8 hommes : 1 chef d'équipe à 2 fr. 25 par jour et 7 ouvriers à 2 francs.

5. — Chaque équipe se compose de 2 poseurs à 0 fr. 07 par traverse de joint, et 0 fr., 045 par traverse intermédiaire.

6. — A la machine à forer, — 13,598 rails, — 9 ouvriers, dont un à 3 fr, et 8 à 2 fr. par jour.

Main-d'œuvre	4.847 fr,20
Entretien	592 ,00
	5.439 fr,20

Soit par rail : 0 fr. 40.

A la machine à poinçonner, — 3,030 rails, — 13 ouvriers, dont 1 à 4 fr. et 12 à 2 fr. 25 par jour.

Main-d'œuvre	500 francs
Entretien	280
	780

Soit par rail: 0 fr., 26.

7. — A l'emporte-pièce, 3,099 rails, avec deux frappeurs à 2 fr. 50, et 12 bardeurs à 2 fr. ; dépense : 498 fr. 25 ; soit par rail : 0 fr. 15.

Au burin, 6,462 rails, avec 4 ajusteurs à 0 fr., 105, par rail, et 4 bardeurs à 2 fr. ; dépense : 840 fr. ; soit par rail : 0 fr. 13.

8. — A la journée, à raison de 5 fr., y compris la fourniture des limes.

9. — Les traverses ont été transportées par 37 trains de nuit parcourant en moyenne 20 kilomètres et revenant à vide.

Chaque train occasionnait une dépense de . . .	57 fr,00
44 journées de main-d'œuvre à 2 fr , 07. . . .	91 ,08
Soit pour 1.346 traverses. . .	148 fr,08

10. — 17 trains ; traction, entretien, éclairage 716 fr,00
555 journées employées au chargement et déchargement 1.109 ,80
Dépense totale. . . . 1.825 fr,80

11. — Ce matériel fut transporté par trains ordinaires aux stations voisines des lieux d'emploi ce qui occasionna une dépense de 591 fr., 20 ainsi divisée:

Transport par trains	139 fr,00
Transport par Lorrys, 338 journées à 1 fr., 90 .	452 ,20
Total. . .	591 fr,20

12. — 104 passages à niveau dont 7 à deux longueurs de rail, et 97 à une seule longueur (ce nombre de passages à niveau est très considérable puisqu'il correspond à cinq passages environ par kilomètre).

Prix de revient de réfection d'un mètre courant de voie.

MATERIAUX

Pour une longueur de 6 mètres:

Traverses ; 6 à 5 fr. 50 la pièce.	33 fr,00
Rails ; 2 pesant 440 kilogr. à 20 fr. les 10 kilog.	88 ,00
Eclisses ; 2 paires, 16 kil., 6 à 25 francs. . .	4 ,15
Crampons ; 28, environ 8 kilogrammes à 40 fr. .	3 ,20
A reporter. . .	128 fr,35

Report. . .	128fr,35	
Boulons ; 8, environ 4 kilogrammes à 50 fr. . .	2 ,00	
Platines ; 2 de 4 kilogr., 8 kilogr. à 25 francs .	2 ,00	
Pour 6 mètres.	132fr,35	
Soit par mètre.	. . .	22fr,06
A déduire pour les vieux matériaux :		
Traverses	0fr,50	
Rails.	7 .00	
Coussinets, chevillettes	1 ,50	9 00
Prix des matériaux		13fr,06

MAIN-D'ŒUVRE

Frais de chargement, transport et rangement au chantier : bois.		0fr,6000
Fer		1 ,2256
Préparation au chantier : bois.		0 ,1191
— — fer.		0 ,1569
Chargement, transport et déchargement à pied-d'œuvre.		0 ,2178
Pose et dépose des changements		0 ,0258
Démolition de l'ancienne voie		0 ,1900
Pose de la nouvelle voie		0 ,3820
Réfection des passages à niveau.		0 ,0726
Manutention des vieux matériaux		0 ,2949
Entretien des outils :		
Préparation : bois	0 ,0160	
— fer.	0 ,0204	
Pose	0 ,0114	0fr,0478
Frais généraux		0 ,1797
Main-d'œuvre		3fr,5122

Prix de revient de réfection d'un mètre courant de voie : 16 fr. 57.

Le prix de revient que nous avons établi plus haut, pour la main-d'œuvre de réfection de 1 mètre courant de voie sur une ligne maintenue en circulation, ne comprend pas les frais de transport des matériaux au chantier et s'applique à une longueur de 16 kilomètres, ne présentant qu'un seul passage à niveau, tandis que le dernier prix comprend les frais de transport des matériaux au chantier, les frais de préparation des rails — qui n'ont aucune importance dans le premier cas ; — de plus il s'applique à une section présentant 5 passages à niveau par kilomètre.

Ainsi chaque fois que cela sera possible, l'administration d'un chemin de fer réalisera une très grande économie et aura plus de sécurité en reportant successivement la circulation sur l'une des deux voies pendant les travaux de réfection.

261. — Restauration et emploi des rails avariés. — Les rails en fer sont encore posés sur beaucoup de voies et au moment de leur substituer des rails en acier, il y a lieu de se rendre compte de l'utilisation possible des rails retirés définitivement de la voie ou simplement avariés.

On peut les diviser en deux classes :

1° Rails écrasés ou exfoliés d'un bout à l'autre ;

2° Rails avariés sur certaines places seulement.

La première classe est vendue aux forges et aciéries qui l'emploient dans la fabrication courante, mais les prix offerts par les maîtres de forge étant quelquefois très réduits, certaines Compagnies ont tiré parti des rails en fer de la voie dans la construction des barrières de passages à niveau (chap. IV, § 3) des poteaux indicateurs, (chapitre IX) dans l'établissement des paraneiges, etc., etc.

Les chemins de Brunswick se sont également servis de rails avariés, en guise de pieux et palplanches, dans la construction des batardeaux et la fondation des ponts ; c'est une question de prix de revient.

La deuxième classe, celle des rails partiellement avariés, sert à former les voies de garage, service, etc.

Il en est de même des rails en fer en bon état qui sont retirés de la voie courante pour insuffisance de dimensions.

Lorsqu'on se trouve à de grandes distances des fabriques de rails et que l'on dispose d'un atelier convenablement outillé, on peut avoir avantage à procéder à une restauration des rails en fer. Nous rappellerons le procédé introduit aux ateliers d'Olten par M. Riggenbach, directeur du service des machines du Central Suisse, et à ceux de Berg près Stuttgard, par de Henckel de Francfort.

Ce procédé diffère des autres modes de réparation, par ce fait qu'il ne restaure pas les parties avariées, mais qu'après les avoir enlevées, il reconstitue des rails de longueur normale en soudant les parties saines. A cet effet, les bouts des rails à souder sont découpés à chaud en sifflet, de manière que l'un d'eux forme un angle dièdre saillant, l'autre un angle dièdre rentrant, l'arête de ces angles se trouvant perpendiculaire à la fois à l'axe longitudinal du rail au patin et au plan tangent au champignon parallèle au patin (fig. 323).

Les bouts mâle et femelle réunis sont introduits dans un four *b* placé sur une petite voie de fer disposée sur le sol de l'usine, les extrémités libres des rails étant soutenues par des chevalets *c* roulant sur la même voie.

Le four chauffé au coke, reçoit d'un ventilateur le vent qui, avant de pénétrer dans le foyer, se rend dans une chambre à air surmontée d'une grille,

dont les barreaux supportent le combustible que l'on pousse dans le foyer en le faisant glisser sur deux petits plans inclinés ménagés de chaque côté du four. Après six ou huit minutes de chauffage on arrête le vent : le fer amené au blanc soudant est refoulé à l'aide de deux moutons *m* suspendus par des chaînes à la charpente de l'atelier, et qui frappent horizontalement et en sens inverse contre les extrémités libres des bouts à réunir.

On retire alors du four le rail ainsi soudé en une seule pièce ; on soumet la soudure à un martelage convenable, à l'aide de matrices appropriées, sur une enclume *e* mobile sur la petite voie du four.

Enfin on le fait passer encore à la chaleur rouge, dans un petit laminoir à main *l* qui amène le fer au profil voulu. Après le dressage, chaque rail posé sur deux appuis distants de 1 mètre est soumis à un effort de 10.000 k. appliqué au point de soudure.

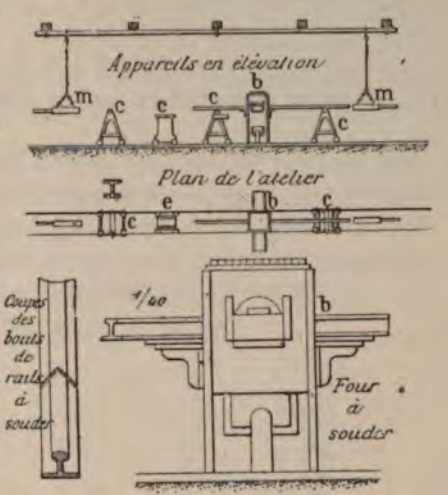


Fig. 323.— Restauration des rails avariés.

Dans une usine convenablement installée deux fours desservis par neuf hommes livrent 18 à 20 rails par jour.

524. — Observation. — L'examen attentif de l'ensemble des différentes questions traitées jusqu'ici met en lumière toute l'importance des détails relatifs à la constitution de la voie. Ainsi pour ne rappeler ici qu'un petit nombre de points principaux, l'assainissement des talus et la préparation de la plate-forme des terrassements et du ballast, le sabotage des traverses, l'écartement des rails, le surélèvement dans les courbes, enfin la fixation des attaches constituent autant d'opérations qui réclament toute l'attention de l'ingénieur soucieux d'établir une voie dont l'entretien ne présente pas de difficultés sérieuses.

Sous ce dernier point de vue comme sous celui de la sécurité de la circulation, la pose de la voie faite *en régie intéressée* paraît préférable à la pose par *entreprise*. Il s'agit en effet, de concilier deux intérêts opposés, celui d'une exécution irréprochable et celui d'un prix de revient admissible.

Nous aurons à traiter de nouveau ce sujet lors de la pose des appareils spéciaux de la voie (tome II).

FIN DU TOME PREMIER

ANNEXES

ANNEXE A

COMPARAISON
des mesures employées dans différents pays.

Le principe d'un système unique de mesures servant aux relations internationales ne rencontre plus de contradictions sérieuses, mais comme l'application peut se faire attendre quelque temps encore, nous croyons utile, pour faciliter les recherches, de placer sous les yeux du lecteur les principaux éléments de conversion qui ont servi à la rédaction de cet ouvrage (¹).

1° Conversion du Mètre en pieds

Autriche	3p,1635
Prusse	3, 186
Angleterre et Russie	3, 281
Suisse, Bade et Nassau	3, 3333
Bavière et Hanovre	3, 424
Wurtemberg	3, 496
Saxe	3, 533

2° Conversion du Pied en mètre

Autriche	0m,3161
Prusse	0, 3138
Angleterre et Russie	0, 3048
Suisse, Bade et Nassau	0, 3000
Bavière et Hanovre	0. 2919
Wurtemberg	0, 2865
Saxe	0, 2832

3° Conversion des monnaies étrangères en monnaie française

NOMBRE	FLORINS du Rhin en FRANCS	FLORINS d'Autriche en FRANCS	THALERS en FRANCS	ROUBLES en FRANCS	Livres Sterling en FRANCS	SHELLINGS en FRANCS
1	2fr14	2fr50	3fr75	4fr00	25fr208	1fr26
2	4 29	5 »	7 50	8 »	50 416	2 52
3	6 43	7 50	11 25	12 »	75 624	3 78
4	8 57	10 »	15 »	16 »	100 832	5 04
5	10 71	12 50	18 75	20 »	126 040	6 30
6	12 85	15 »	22 50	24 »	151 248	7 56
7	15 »	17 50	26 25	28 »	176 456	8 82
8	17 14	20 »	30 »	32 »	201 664	10 08
9	19 29	22 50	33 75	.36 »	226 872	11 34
10	21 43	25 »	37 50	40 »	252 080	12 60

(¹) Le système métrique limité aux mesures et poids est adopté par la Belgique, l'Espagne, l'Italie, la Suisse, la Turquie, la Grèce, le Vénézuela, la Roumanie, la Serbie, la Colombie, le Pérou, l'Allemagne, l'Autriche, etc.

4° Conversion des mesures anglaises en mesures françaises.

NOMBRE	POUCES en centimètres	PIEDS en mètres	POUCES CARRÉS en centimètres carrés	PIEDS CARRÉS en mètre carré	PIEDS CUBES en mètre cube
1	2c539	0m3048	6c45	0m0929	0m028314
2	5 078	0 6096	12 90	0 1858	0 056628
3	7 619	0 9144	19 35	0 2787	0 084942
4	10 159	1 2197	25 81	0 3716	0 113256
5	12 699	1 5239	32 26	0 4645	0 141570
6	15 239	1 8287	38 71	0 5574	0 169684
7	17 780	2 1335	45 16	0 6503	0 198198
8	20 319	2 4383	51 61	0 7432	0 226512
9	22 859	2 7432	48 06	0 8361	0 254826
10	23 399	3 0479	64 52	0 9290	0 383140

NOMBRE	LIVRES en kilogrammes	CENTS en kilogrammes	TONNES en tonneaux de 1.000 kilogrammes	Pressions en livres par pouce carré en kilogrammes par centimètre carré	MILLES en kilomètres
1	0k453558	50k802	1t01604	0k070277	1k6093
2	0 907116	101 604	2 03208	0 140554	3 2186
3	1 360674	152 406	3 04812	0 210832	4 8279
4	1 814232	203 208	4 06416	0 281109	6 4373
5	2 267790	254 018	5 08020	0 351387	8 0466
6	2 721348	304 812	6 09624	0 421664	9 6559
7	3 174906	355 614	7 11228	0 491941	11 2652
8	3 628464	406 416	8 12832	0 562219	12 8745
9	4 082022	457 226	9 14436	0 632496	14 4838
10	4 535580	508 020	10 16040	0 707774	16 0930

5° L'administration des chemins de fer allemands emploie pour base de sa statistique annuelle, à laquelle nous avons fait de nombreux emprunts, les valeurs suivantes :

1 pied = 0m,313853 ;
1 ruthe = 12 pieds de Prusse = 3m,7662425 :
1 meile = 2000 ruthen de Prusse = 7 kmt 532 ;
1 pied cube = 0m3030916 ;
1 klafter = 108 pieds cubes = 3m3338928 ;
1 klafter de Vienne (6 pieds divisés en 12 pouces) = 1m89666 ;
1 quintal (de douane) = 100 livres = 50 kilogrammes ;
1 quintal de Vienne = 1 qd 120 = 56 kilogrammes ;
1 thaler = 30 silbergroschen = 360 pfenningen ;

6° Les chemins de fer russes adoptent la métrologie suivante (1) :

MESURES RUSSES	MESURES MÉTRIQUES	MESURES RUSSES	MESURES MÉTRIQUES
1 pouce . . .	0m025399	1 livre . . .	0kil 409511
1 pied . . .	0 304794	1 poud . . .	16 380462
1 archine. . .	0 711187	1 tchetvert . .	209lit 90192
1 sagène. . .	2 133561	1 tchetverik. .	26 23774
1 verste . . .	1066 7807275	1 rouble or . .	4 00000
		1 copeck. . .	0 04000

7° Le système métrique est officiellement introduit en Turquie. Il remplacera donc peu à peu le système inextricable que l'on y trouve encore.

D'après le cahier des charges des chemins de fer de la Turquie d'Europe, il est convenu que la conversion des anciennes mesures s'effectuera sur les bases suivantes :

1 archine (2) = 0m750 = 2 1/2 pieds anglais ou russes ;
1 ocque (3) = 1k250 = 2 2/3 livres anglaises ;
1 medjidié d'or = 100 piastres = 23 francs (4) ;
1 piastre = 40 paras = 0 fr. 23.

(1) M. Hovyn de Tranchère.
(2) L'ancien pichi = 0m,6691.
(3) L'ancien oka = 1k2830.
(4) Selon le cours du change.

ANNEXE B

PROGRAMME
POUR
LA RÉDACTION DES PROJETS

PIÈCES à produire	ÉCHELLES	RÈGLES A OBSERVER
		I. — AVANT-PROJET
DESSINS 1° Extrait des cartes. 2° Plan général.	*ad libitum.* On adoptera suivant le cas, l'une des échelles suivantes : 1/1000, 1/2000, 1/2500, 1/5000, 1/10000. On fera usage, autant que possible, des plans du cadastre.	1 — Les accidents du terrain seront toujours figurés sur la carte ou sur le plan général au moyen soit de courbes horizontales, soit de hachures, soit de teintes conventionnelles ; on y inscrira, en outre, entre parenthèses, autant de cotes utiles de hauteur au-dessus du niveau de la mer que l'on aura pu en recueillir, particulièrement celles qui se rapportent aux faîtes et aux thalwegs. Les extraits de cartes devront être calqués sur les cartes gravées ou manuscrites qui existent dans les bureaux, notamment sur celles du dépôt de la guerre en France. Lorsqu'un projet s'étendra sur une certaine partie du littoral maritime, on se servira des cartes hydrographiques (comme celles existantes en France), surtout de celles qui sont publiées par le dépôt de la marine pour figurer le développement des côtes et indiquer les cotes de profondeur. 2 — Les cartes et le plan général seront orientés. 3 — La direction de chaque cours d'eau sera indiquée par une ou plusieurs flèches. 4 — Pour établir une concordance parfaite entre le plan et le nivellement, on rapportera sur le plan, avec précision, les points principaux du profil en long, notamment les bornes militaires ou kilométriques, s'il en existe, tous les pieds de pentes ou sommets de rampes, les piquets d'angles et les points ou doivent être placés des ouvrages d'art. Il arrive souvent qu'un espace de temps plus ou moins long s'écoule entre l'établissement de l'avant-projet et le commencement des travaux, il convient donc de marquer et souvent de construire des points de repère en des emplacements convenablement choisis et dans des conditions de durée suffisantes. Ces points de repère devront être soigneusement reportés sur le plan. De plus lorsque cela pourra être utile pour faciliter

PIÈCES à produire	ÉCHELLES	RÈGLES A OBSERVER
		l'examen du projet, on rabattra le profil en long sur le plan. 5 — Lorsqu'un tracé devra passer dans une vallée sujette à des inondations, on indiquera sur le plan la limite du champ d'inondation. Si le projet a pour but l'amélioration d'un fleuve ou d'une rivière, ou une défense de rive, on s'attachera plus particulièrement à indiquer le tracé du thalweg et les limites du champ d'inondation sur les deux rives. Le plan devra d'ailleurs s'étendre suffisamment, en amont et en aval des ouvrages projetés, pour donner une idée exacte de la direction générale des cours d'eau. 6 — Lorsqu'il s'agira du tracé d'une route, d'un canal ou d'un chemin de fer, le plan général devra présenter des deux côtés du tracé et sur une largeur totale qui ne sera pas, en général, de moins d'un kilomètre, des rangées transversales de cotes de nivellement en nombre assez grand pour justifier complètement le choix de la direction proposée. Les chemins transversaux et au besoin, les limites des propriétés, fourniront des directions naturelles pour ces nivellements. Ils seront compris, autant que possible, entre des limites naturelles, telles que le flanc d'un coteau et une ligne de thalweg ou le bord d'un cours d'eau. 7 - Le nivellement sera autant que possible rapporté au niveau de la mer.
3° Profil en long: Longueurs Hauteurs	Echelle du plan général Echelle décuple de celle des longueurs	8 — Les cotes de longueur seront inscrites sur deux lignes tracées au-dessous du profil, parallèlement à la rive du papier. Sur la première ligne seront inscrites les longueurs partielles entre deux cotes consécutives du nivellement ; sur la seconde, les mêmes longueurs cumulées à partir de l'origine. S'il s'agit d'un tracé de route ou de chemin de fer, on inscrira sur une troisième ligne la longueur et la déclivité de chaque pente ou rampe ; s'il s'agit d'un projet de navigation on y indiquera au besoin, les distances entre les principaux ouvrages d'art. Pour les chemins de fer on cotera, sur une quatrième ligne les longueurs des alignements droits, ainsi que les longueurs et les rayons des courbes. Enfin pour tous les projets, sur une ligne établie au-

PIÈCES à produire	ÉCHELLES	RÈGLES A OBSERVER
		dessus du profil, on indiquera la longueur du tracé dans la traversée de cette commune. 9 — La longueur du tracé sera divisée en kilomètres; l'origine sera indiquée, par un zéro et les extrémités des divers kilomètres seront marquées par des chiffres romains. Chacune de ces divisions principales sera subdivisée en fractions exactes du kilomètre, lesquelles seront numérotées en chiffres arabes. La longueur des entre-profils ainsi numérotés devra être constante dans toute l'étendue d'un même avant-projet. S'il est nécessaire d'établir des profils intermédiaires, on les placera, autant que possible, à des distances du profil normal qui précède immédiatement, exprimées par des nombres entiers, sans fraction de mètre, et on les désignera par le numéro de ce profil normal, auquel on ajoutera les indices *a*, *b*, *c*, etc. 10 — Le profil en long indiquera toujours la coupe du terrain par un simple trait noir. Les lignes du profil seront tracées en rouge. Les surfaces de remblai seront lavées en rouge, et celles de déblai en jaune. Les cotes de remblai et de déblai seront inscrites en rouge, et placées, celles de remblai immédiatement au-dessus, et celles de déblai immédiatement au-dessous de la ligne du terrain, excepté sur les points où cette ligne se trouvera très rapprochée de celle du projet; auquel cas les cotes devront être inscrites au-dessus des deux lignes à la fois, s'il y a remblai, et au-dessous s'il y a déblai. 11 — Les ponts, ponceaux, aqueducs et autres ouvrages d'art, seront figurés en coupe sur le profil en long. Le niveau des plus hautes et des plus basses eaux connues et celui des plus hautes eaux de navigation, seront indiqués par des lignes bleues que l'on rattachera au plan général de comparaison par des cotes de même couleur. Lorsqu'il s'agira d'un projet de navigation, on indiquera à la fois sur le profil en long, la rivière et le chemin de halage. Dans les projets des ports maritimes et des ouvrages à la mer, on aura toujours soin d'indiquer les hautes et

PIÈCES à produire	ÉCHELLES	RÈGLES A OBSERVER
		les basses mers de morte eau ainsi que les hautes et basses mers de vive eau, tant ordinaires qu'extraordinaires. 12 — Lorsqu'il y aura lieu de comparer plusieurs tracés, les nivellements respectifs de ces tracés, entre les mêmes points du plan, seront ou superposés ou placés les uns au-dessus des autres, mais toujours sur une même feuille. On emploiera pour les lignes et écritures relatives à chaque tracé la couleur qui aura été affectée à ce tracé sur le plan.
4° Profils en travers	1/200 pour les longueurs et pour les hauteurs	13 — Les profils en travers comprendront une étendue au moins double de celle du terrain à occuper. La cote prise sur l'une sera distinguée des autres par l'emploi d'un caractère spécial ou plus prononcé. Cette cote sera la même que celle du profil en long. Les cotes des profils en travers et celles du profil en long, appartiendront toujours à un même plan général de comparaison : seulement, pour ne pas avoir de trop longues ordonnées, on pourra rapporter ces profils à une ligne passant à un certain nombre de mètres au-dessus ou au-dessous du plan de comparaison, mais en laissant les cotes telles qu'elles doivent être pour indiquer les hauteurs prises par rapport à ce plan. Les profils en travers levés dans le voisinage d'un cours d'eau ou sur un terrain submersible seront accompagnés d'un trait bleu indiquant le niveau des plus hautes eaux, et rattaché au plan général de comparaison par une cote de même couleur. Lorsqu'il s'agira de projets de travaux à exécuter en lit de rivière ou de projets de digues à établir sur le bord des rivières, on y joindra des profils en travers en nombre suffisant pour faire connaître la position du thalweg et l'on aura soin d'étendre ces profils au-delà des limites du champ d'inondation. Les profils en travers seront tous rabattus du côté du point de départ. 14 — Tous les dessins seront cotés avec exactitude. Le niveau des plus basses et des plus hautes eaux, ceux des hautes et des basses mers de morte eau, de vive eau ordinaire et de vive eau d'équinoxe, y seront toujours indiqués par des lignes et des cotes bleues.

PIÈCES à produire	ÉCHELLES	RÈGLES A OBSERVER
5° *Type d'ouvrages d'art* pour les dimensions n'excédant pas 100 mèt.	1/100	On peut employer au besoin pour certains détails, des échelles multiples de celles qui précèdent.
Idem. — excédant 100 mèt.	1/200	
Pièces écrites :		
1° Mémoire à l'appui de l'avant-projet.	sur format administratif. en France 21 sur 31.	
2° Tableau approximatif des terrassements, ouvrages d'art, etc.		
3° Estimation approximative et détaillée des dépenses.		
4° Relevé de la circulation annuelle (pour les projets de		

PIÈCES à produire	ÉCHELLES	RÈGLES A OBSERVER
route, en distinguant autant que possible, les diverses parties de la route). 5° Bordereau des pièces du dossier.		
DESSINS		II. — PROJETS DÉFINITIFS
1° *Plan général*	On adoptera suivant les cas l'une des échelles suivantes : 1/1000, 1/2000, 1/2500, 1/5000 ou 1/10000 on fera usage autant que possible des plans du cadastre.	15 — Les accidents de terrains seront toujours figurés sur le plan général au moyen, soit de courbes horizontales, soit de hachures. soit de teintes conventionnelles. 16 — Le plan général sera orienté, et la direction de chaque cours d'eau y sera indiqué par une ou plusieurs flèches. 17 — On rapportera sur le plan général tous les points du profil en long, sans exception. Les rayons des arcs de cercle, et, pour les paraboles, les rayons de courbure aux points de tangences ainsi qu'au sommet, seront cotés avec exactitude. 18 — Dans les vallées, on indiquera sur le plan le thalweg ainsi que les limites du champ d'inondation.
2° *Profil en long*		19 — Comme aux numéros 7, 8, 9, 10 et 11 en ajoutant que l'on indiquera sur le profil les sondages qui auront été faits, notamment sur l'emplacement des tranchées et des remblais d'une certaine hauteur ainsi que dans le lit des rivières, pour les projets des ponts ou de navigation.
longueurs	Echelle du plan.	20 — Comme au numéro 13, en ajoutant seulement que l'on mettra, en tête du cahier des profils en travers, les profils types de la route, du canal ou du chemin de fer à exécuter.
hauteurs	Echelle décuple de celles des longueurs.	

PIÈCES à produire	ÉCHELLES	RÈGLES A OBSERVER
3° *Profils en travers*	1/200 pour les longueurs et pour les hauteurs.	21 — On indiquera sur la coupe des fondations de tous les ouvrages, soit par des traits distincts, soit par des teintes conventionnelles, la nature et l'épaisseur des couches de terrain dans lesquelles les fondations seront engagées.
4° *Ouvrages d'art* Pour les dimensions n'excédant pas 25 mètres	1/50	22 — Le niveau des plus basses et des plus hautes eaux, ceux des hautes et basses mers de morte eau, de vive eau ordinaire et de vive eau d'équinoxe, seront toujours indiqués sur les élévations et sur les coupes des ouvrages d'art par des lignes et des cotes bleues.
Idem. — comprises entre 25 et 100 m.	1/100	23 — Sur les plans, coupes et élévations des ouvrages d'art, on aura soin de mettre autant de cotes qu'il sera nécessaire pour que l'on n'ait pas besoin de recourir au devis. On écrira en chiffres plus prononcés les dimensions principales, par exemple: pour les ponts et ponceaux, l'ouverture et la montée des voûtes, la hauteur des pieds-droits, l'épaisseur des piles et culées, l'épaisseur à la clé, la largeur entre les têtes, la hauteur et l'épaisseur des parapets, la largeur des trottoirs, etc.; pour une écluse, la largeur du sas, la hauteur des bajoyers, celle du mur de chute, la longueur totale de l'écluse, la distance du mur de chute à la chambre des portes d'aval, etc.
Pour les dimensions excédant 100 mètres.	1/200	
Pour les portes d'écluse, les ponts tournants les voies et le matériel des chemins de fer et en général pour les ouvrages en charpente ou en métal.	de 1/20 à 1/5 en n'employant que des rapports simples et décimaux.	24 — L'appareil sera toujours figuré en élévation et en coupe.

PIÈCES à produire	ÉCHELLES	RÈGLES A OBSERVER
Pièces écrites : 1° Mémoire à l'appui du projet; 2° Devis et cahier des charges; 3° Avant-métré; 4° Analyse des prix; 5° Détail estimatif; 6° État sommaire des indemnités à payer; 7° Bordereau des pièces du projet.		25 — Les pièces numéros 2, 3, 4 et 5 seront toujours exactement conformes aux formules arrêtées par l'Administration. Ces formules seront réimprimées dans chaque département, sans modifications, additions ni retranchements. La réimpression sera faite suivant le format prescrit ci-après. 26 — On ne produira dans les pièces du projet, aucune des conditions qui figureront dans le cahier des charges et conditions générales, auquel on devra toujours renvoyer par le dernier article du devis. 27 — On aura soin d'inscrire dans le bordereau toutes les pièces du projet, avec un numéro correspondant.
		III. — PIÈCES A PRODUIRE
1° Plans parcellaires par commune;	1/1000	28 — Chaque plan parcellaire sera rapporté sur une feuille de papier continue, formée de feuilles ajustées en ligne droite sans goussets. En conséquence, à chaque changement notable de direction de l'axe, on établira un onglet en blanc, déterminé par deux lignes formant un angle d'une amplitude convenable, et disposées de manière qu'il soit facile de reproduire à volonté l'état des lieux. A cet effet, le papier sera brisé suivant deux plis que l'on reformera au besoin: les deux brisures aboutiront au même point sur l'une des rives du papier: l'une des brisures sera perpendiculaire à ces rives de manière à diviser en deux parties égales l'angle mort où le dessin sera interrompu.
2° Tableau des surfaces des terrains à		29 — On inscrira sur chaque parcelle le nom du propriétaire, le numéro de la matrice cadastrale, et, de plus, un numéro d'ordre écrit en rouge correspondant à celui de l'état des indemnités.

PIÈCES à produire	ÉCHELLES	RÈGLES A OBSERVER
acquérir; 3° État détaillé des indemnités à payer 4° Bordereau des pièces du dossier.		Le plan portera en outre les lettres par lesquelles on désigne les sections cadastrales et les dénominations locales des subdivisions ou lieux dits. 30 — On reproduira sur ces états les noms, les numéros et les autres désignations inscrites sur le plan. Pour les noms il y aura deux colonnes, dans l'une desquelles on incrira les noms qui figurent à la matrice cadastrale, et dans l'autre ceux des propriétaires actuels et de leurs fermiers ou locataires. IV. — DISPOSITIONS GÉNÉRALES 31 — Les plans et nivellements seront toujours rapportés dans le sens indiqué par la dénomination de la route, du canal ou du chemin de fer, ou dans le sens du cours de la rivière, en allant de gauche à droite. 32 — On inscrira aux deux extrémités du plan les mots: *côté de*..... (Points de départ et d'arrivée servant à la dénomination de la route, du canal ou du chemin de fer). 33 — Afin de faciliter la recherche, sur les cartes, du lieu où les travaux doivent être exécutés, on placera à l'origine du profil en long, une note indiquant approximativement la distance de ce point aux principaux centres de population qui précèdent; et à l'extrémité du même profil, une note semblable indiquant la distance de ce second point aux principaux centres de population situés au-delà. 34 — On aura soin d'indiquer sur tous les plans les centres de population, domaines, chemins, cours d'eau, ouvrages d'art, tracés, etc., dont il est fait mention dans les rapports, mémoires, délibérations et autres pièces quelconques faisant partie du dossier, afin de faciliter l'intelligence de ces pièces. Autant que possible on y inscrira les chiffres des populations. 35 — On évitera d'employer des expressions locales, ou, si on les emploie on en donnera la traduction. 36 — Les écritures devront être bien lisibles, ainsi que les chiffres inscrits sur les plans et profils. Les petits caractères, (lettres ou chiffres) n'auront pas moins de deux millimètres de hauteur. 37 — Les échelles seront représentées graphiquement

PIÈCES à produire	ÉCHELLES	RÈGLES A OBSERVER
		sur les plans et profils. En même temps, elles seront définies en chiffres comme dans l'exemple suivant : *Échelle de 0m,005 pour mètre (1/200)* 38 — Les plans, profils et dessins seront, autant que possible, collés sur calicot blanc, ou sinon, dressés sur bon papier souple et propre au lavis. 39 — Tous les plans, profils, dessins et pièces écrites, sans exception aucune, seront présentés dans le format dit *tellière*, de 0m,31 de hauteur sur 0m,21 de largeur. 40 — Les plans, profils et dessins seront pliés suivant ces dimensions, en paravent, c'est-à-dire à plis égaux et alternatifs, tant dans le sens de la hauteur que dans celui de la longueur, en commençant toujours par cette dernière dimension. 41 — Les titres, signatures et autres écritures d'usage, ainsi que l'échelle, seront placés sur le *verso* du premier feuillet des plans, profils et dessins, de manière qu'il soit toujours facile de les mettre en évidence ; que le dessin soit plié ou qu'il soit ouvert. 42 — Les Ingénieurs emploieront les formules suivantes : *dressé par* { l'ingénieur ordinaire ou l'élève ingénieur } soussigné..... *vérifié et présenté par* { l'ingénieur en chef ou l'ingénieur faisant fonctions d'ingénieur en chef. } soussigné conformément à sa lettre ou à son rapport du.... 43 — On inscrira d'ailleurs, en caractères très lisibles au-dessous des titres généraux, les noms et les grades des signataires du projet. 44 — Les procès-verbaux de conférences entre les ingénieurs des services civil et militaire, seront toujours accompagnés d'une expédition des plans, nivellements, dessins et autres pièces mentionnées dans le procès-verbal et portant les mêmes dates et les mêmes signatures que le procès-verbal. Approuvé : *Le Ministre des Travaux publics,* BINEAU.

ANNEXE C

NOTE

sur la nature des contrats à passer pour l'exécution des travaux.

Dans l'exécution des grands travaux, on peut suivre trois modes différents pour régler les rapports entre l'administration qui fait exécuter et l'entrepreneur qui exécute :

1° Traité à forfait ;

2° Traité sur série de prix ;

3° Traité sur série de prix avec limitation des quantités à fournir.

Traité à forfait. — Ce traité stipule que pour un prix fixé en bloc, l'entrepreneur sera tenu de livrer un travail déterminé. Ce mode de contrat ne doit s'appliquer qu'à des objets parfaitement définis.

Hors delà, il est de tous le plus dangereux (Art. 1793 et 1794 du Code civil).

Traité sur série de prix. — Dans ce mode de contrat on ne définit que la nature et le prix de détail de l'objet à fournir, mais non les quantités ni le prix total. On se borne à stipuler outre le prix de chacun des détails, la nature, la qualité et les conditions de livraison de ces travaux de détails dont l'ensemble reste indéterminé.

Il n'exige avant l'exécution ni métré, ni plans, mais seulement lorsque le marché a pris fin, le compte et la mesure des travaux fournis.

Ce mode de contrat, moins aléatoire que le précédent, expose cependant l'entrepreneur à certains risques. Tous les prix de détails ne sont pas également avantageux, quelques-uns même peuvent être onéreux.

De là ce résultat que si le maître fait porter le gros de l'entreprise sur tel ou tel détail, le bénéfice de l'entrepreneur peut être compromis.

Pour le maître ce contrat est dangereux, en ce qu'il ne l'avertit pas du montant même approximatif de la dépense ; en ce qu'il ne la limite pas, enfin si l'ordre d'exécution des travaux n'est pas observé il peut l'exposer à des déboires. On ne l'emploie donc que pour les travaux qui ne peuvent prendre une grande extension.

Traité sur série de prix avec limitation des quantités à fournir. — La plupart des grands travaux s'exécutent aujourd'hui en joignant à la série de prix qui forme la base du contrat, une désignation approximative du travail à livrer et des quantités de chaque nature d'ouvrages qu'il comporte, et en stipulant de plus que les quantités ainsi prévues ne pourront être augmentées ni diminuées que dans des proportions déterminées.

Ce traité limite autant que possible les chances aléatoires de l'entreprise et place les deux parties en présence avec toute leur indépendance, sans que l'une soit à la merci de l'autre.

Il permet au maître de se rendre compte assez approximativement des dépenses dans lesquelles il s'engage, et ne le met pas à la merci de l'inhabilité, ou de la connivence, ou de la négligence de ses agents, en ce qui concerne du moins l'étendue des engagements contractés.

Quant à l'entrepreneur, le détail estimatif qui est communiqué ne doit pas l'empêcher de vérifier par lui-même les bases sur lesquelles il est établi. Car bien que limitatif, il peut encore être rédigé de telle sorte qu'il soit transformé, par parties, en un véritable traité à forfait très avantageux pour la Compagnie et désastreux pour l'entrepreneur.

C'est sur des interprétations erronées de ces clauses que se basent la plupart des procès engagés entre les Compagnies ou administrations et les entrepreneurs.

ANNEXE D

PROGRAMME D'UN CAHIER DES CHARGES POUR L'EXÉCUTION DES TRAVAUX DE TERRASSEMENTS ET OUVRAGES D'ART (1)

CHAPITRE PREMIER

Description du tracé

ARTICLE PREMIER. — *Indication des points principaux.*

ART. 2. — *Tracé de l'axe du chemin.* — L'axe du chemin présentera en plan les alignements et les courbes de raccordement indiqués au tableau suivant (9-10-11-13) :

INDICATION DES ALIGNEMENTS ET DE LEURS REPÈRES	LONGUEUR des alignements		ANGLE des alignements adjacents	RAYONS des courbes de raccord	LONGUEUR des tangentes
	Droits	Courbes			
Total des alignem. droits.					
Total des alignem. courbes.					
Longueur totale. . . .					

ART. 3. — *Profil en long.* — L'axe du chemin offrira la succession des paliers, pentes et rampes qui sont indiqués dans le tableau suivant (4):

(1) Chemins de fer des grands réseaux français.

DÉSIGNATION DES PALIERS PENTES ET RAMPES	ORDONNÉES à l'origine	ORDONNÉES à l'extrémité	LONGUEUR des paliers	PENTES Longueur	PENTES Pente par mètre	PENTES Abaissements	RAMPES Longueur	RAMPES Rampe par mètre	RAMPES Elévation
Totaux. . .									
Somme des élévations. . . .					Cote de départ . .				
Somme des abaissements . .					Cote d'arrivée . .				
Différence.					Différence . .				
(Les deux différences doivent être sensiblement égales)									

ART. 4. — *Profil transversal du chemin.* — Dimensions des remblais et des déblais en couronne. Ces dimensions résultent de celles adoptées pour les diverses parties de la voie (145-149) : distance entre les rails, largeur du champignon des rails, entrevoie, (accotements en déblai ou en remblai pour deux voies ou pour une voie). Inclinaison des talus (17). Profils exceptionnels. Fossés (145).

ART. 5. — *Chemins et routes coupés par le chemin de fer* (35-42) :

1° Passages à niveau (40) ;

NUMÉROS d'ordre	NUMÉROS des piquets	DÉSIGNATION	NUMÉROS d'ordre	NUMÉROS des piquets	DÉSIGNATION

2° Passages en dessus du chemin de fer (47) ;

3° Passages en dessous du chemin de fer (47) ;

4° Routes et chemins déviés (39-40) ;

5° Routes et chemins supprimés (39-40) ;

ART. 6. — *Chemins latéraux* (40).

ART. 7. — *Conditions d'établissement des routes et chemins modifiés* (30) ;

1° Largeur des routes et chemins ;

NUMÉROS d'ordre	POSITION kilométrique	DÉSIGNATION DES ROUTES ET CHEMINS	LARGEURS de la chaussée		LARGEURS des deux accotements	LARGEUR totale	OBSERVATIONS
			pavée	empierrée			

2° Garde-corps des chaussées en remblai.

ART. 8. — *Cours d'eau rencontrés par le chemin de fer :*

1° Cours d'eau franchis au moyen d'ouvrage d'art ;

2° Cours d'eau modifiés.

ART. 9. — *Travaux d'art.* — Les dimensions principales des divers ouvrages à construire, à la rencontre du chemin de fer et des cours d'eau routes, chemins, etc., etc., sont portées au tableau suivant (48) :

NUMÉROS d'ordre	NUMÉROS des piquets	POSITION kilométrique	CHEMINS ET COURS D'EAU MODIFIÉS	INDICATION DES OUVRAGES A CONSTRUIRE	OUVERTURE ou débouché	HAUTEUR sous clef ou sous poutre	LONGUEUR d'une tête à l'autre

CHAPITRE II

Provenance, Qualités et Préparations des Matériaux

ART. 10. — *Matériaux à employer* ;

Tous ces matériaux proviendront des localités indiquées dans les spécifications (Annexes E et F).

§ 1. — MATÉRIAUX POUR LA CONFECTION DES CHAUSSÉES, BÉTONS, MORTIERS

ART. 11. — *Pierres cassées, cailloux et gravier* (41-52).

ART. 12. — *Sable* (41-52).

ART. 13. — *Pavés d'échantillon* (41-44-46).

ART. 14. — *Pavés de blocage et bâtards* (41-44-46).

ART. 15. — *Chaux, chaux hydraulique naturelle ou artificielle ; chaux grasse. Essais* (53).

ART. 16. — *Ciments* (54).

ART. 17. — *Pouzzolanes* (54).

§ 2. — MATÉRIAUX POUR LES OUVRAGES D'ART ET LES OUVRAGES ACCESSOIRES

ART. 18. — *Plâtre* (55).

ART. 19. — *Pierre de taille* (60).

ART. 20. — *Briques* (62).

ART. 21. — *Moellons.* — Diverses espèces de moellons bruts : piqués smillés, etc., meulière (59).

ART. 22. — *Craie et pierres tendres de nature calcaire* (59).

ART. 23. — *Bois.* — Bois dits : en grume, grossièrement équarris, équarris à vive arête (65).

ART. 24. — *Métaux.* — Fonte, fer, acier, plomb, zinc, bronzes, laitons et autres alliages (66).

ART. 25. — *Matières propres à la peinture.* — Couleurs, huiles, mastics (67).

ART. 26. — *Enduits.* — Goudron, coaltar, asphalte (68).

CHAPITRE III

Mode d'exécution des terrassements et des chaussées

§ 1. — PIQUETAGE

ART. 27. — *Piquetage fait par l'Ingénieur.* — Position, enfoncement, dimensions des piquets; état de piquetage; axe du chemin (9).

ART. 28. — *Achèvement du piquetage par l'entrepreneur.* — Profils en travers, distance des piquets dans les parties droites et dans les parties courbes. Gabarits de terrassements (9).

ART. 29. — *Frais de piquetage.* — L'entrepreneur fournit à ses frais les ouvriers et piquets nécessaires pour le tracé.

ART. 30. — *Conservation des piquets* et *gabarits de terrassements* (9).

§ 2. — EXÉCUTION DES TERRASSEMENTS

ART. 31. — *Commencement des terrassements.* — L'entrepreneur commence le travail général des terrassements aussitôt après l'expiration du délai fixé pour la vérification du métré. Il ne peut, toutefois, ouvrir ses travaux que sur les terrains de l'administration, ou ceux dont elle peut obtenir le droit de disposer.

ART. 32. — *Règlement des surfaces et précautions à prendre dans l'exécution des terrassements* (13 à 19).

ART. 33. — *Dépôts et prélèvements latéraux* (20).

ART. 34. — *Semis.* Nature des graines, mode d'exécution des semis (82).

ART. 35. — *Gazonnements.* — Extraction des gazons, dimensions, gazonnements à plat et gazonnements par assises (83).

ART. 36. — *Réparation des dégradations des talus.*

ART. 37. — *Plantations* (84 et suivants).

§ 3. — TERRASSEMENTS DES ROUTES ET CHEMINS; CHAUSSÉES

ART. 38. — *Encaissement.* — Mode d'exécution de l'encaissement en remblai et en déblai (42).

ART. 39. — *Cerces pour régler le bombement* (42).

ART. 40. — *Anneaux pour vérifier le cassage des pierres* (41).

ART. 41. — *Exécution d'une chaussée formée d'une seule couche.* — Routes et chemins modifiés (42).

ART. 42. — *Manière d'exécuter le pavage* (44-46).

CHAPITRE IV

Mode d'exécution des ouvrages d'art et ouvrages accessoires

§ 1. — PIQUETAGE ET RÉCEPTION DES TRAVAUX

ART. 43. — *Indications générales.* — Remise à l'entrepreneur de la spécification (annexes E et F) et des dessins d'exécution (47 et 48).

ART. 44. — *Tracé et piquetage* (49).

ART. 45. — *Réception des matériaux avant l'emploi.* — Les matériaux rebutés restent sur le chantier jusqu'à l'achèvement des travaux de l'année pour avoir la certitude qu'ils n'ont pas été employés. Les pierres de taille, les moellons piqués, les bois, les pièces de fer et de fonte de grandes dimensions auxquelles s'applique l'observation précédente, sont marqués à la peinture à l'huile en noir ou en rouge d'un R d'au moins $0^m,15$ de hauteur. Les petits matériaux, au contraire, le sable, les cailloux, les pierres cassées, les mortiers et les bétons déclarés non recevables sont immédiatement employés dans les remblais ordinaires. Les petites pièces de fer ou de fonte sont également retirées du chantier.

ART. 46. — *Mise au rebut des matériaux défectueux, même après l'emploi.*

§ 2. — FABRICATION ET EMPLOI DU MORTIER ET DU BÉTON

ART. 47. — *Extinction de la chaux* (53).

ART. 48. — *Composition, dosage et fabrication des mortiers* (56).

ART. 49. — *Béton de sable* (57).

ART. 50. — *Fabricatian du béton* (57).

ART. 51. — *Béton posé à sec* (57).

ART. 52. — *Béton immergé* (57).

ART. 53. — *Béton pour chapes. Composition* (57).

§ 3. — FAÇON DES MAÇONNERIES Y COMPRIS TAILLE ET REJOINTEMENT

ART. 54. — *Maçonnerie de pierre de taille* (60).

ART. 55. — *Maçonnerie de moellons de parements* (59).

ART. 56. — *Maçonnerie brute* (59).

ART. 57. — *Maçonnerie de voûtes* (63).

ART. 58. — *Maçonnerie en pierre sèche* (59).

ART. 59. — *Maçonnerie de briques* (62).

ART. 60. — *Rejointoiement* (64).
ART. 61. — *Enduits* (64).
ART. 62. — *Chapes. Soins à prendre lors de la pose* (57-68).

§ 4. — PRESCRIPTIONS RELATIVES AUX CHARPENTES, FERRURES, ETC.

ART. 63. — *Bois pour service temporaire. Charpente pour ouvrages définitifs* (65).
ART. 64. — *Pieux de fondations et palplanches* (65).
ART. 65. — *Fers et fontes. Assemblages* (66).
ART. 66, — *Peinture.* — Application (67).
ART. 67. — *Goudronnage* (68).
ART. 68. — *Chapes en bitume* (68).

CHAPITRE V

Mode d'évaluation des ouvrages

§ 1. — TERRASSEMENTS

ART. 69. — *Métrage des terrassements.* — Les terrassements sont toujours cubés en déblai mesuré au vide de la fouille.

ART. 70. — *Réglement du cube des terrassements.* — Ce règlement a lieu avant l'ouverture des travaux et dans un délai de quinze jours après la notification du piquetage. L'entrepreneur doit donc, avant l'expiration de ce délai, vérifier le piquetage et l'accepter. S'il reconnaît quelques erreurs, le nivellement est refait en sa présence. Il est dressé un procès-verbal de cette opération, et l'entrepreneur est obligé d'accepter les profils arrêtés.

ART. 71. — *Classification des déblais.* — Un certain nombre de sondages sont faits avant l'ouverture des travaux pour déterminer la classification des déblais et le prix moyen du mètre cube pour chaque tranchée. L'entrepreneur vérifie ces sondages.

Sont considérés comme déblais à sec, et payés au prix de la série, tous les déblais jusqu'à $0^m,25$ de profondeur sous l'eau.

ART. 72. — *Draguages.* — On considère comme draguages les déblais de toutes natures effectués à plus de $0_m,60$ sous l'eau. Ils sont payés au prix de la série, suivant leur profondeur sous l'eau à l'emplacement des fouilles, au moment de leur exécution.

L'entrepreneur doit prendre toutes les dispositions nécessaires pour donner un prompt écoulement aux eaux des déblais.

En conséquence, les déblais de la voie, les contre-fossés et les déplacements de routes sont toujours comptés à sec. Pour les autres déblais ils ne sont comptés comme déblais sous l'eau que lorsqu'il est constaté qu'il était impossible, au moyen de rigoles convenablement disposées, de faire descendre le niveau de l'eau jusqu'à $0^m,25$ au-dessus du fond.

ART. 73. — *Evaluation des transports.* — Avant le commencement des travaux, l'ingénieur dresse par sections ou sous-sections, et même, au besoin, par tranchées et parties enlevées en dépendant, un tableau du mouvement des terres, dans lequel est déterminé celui ou ceux des modes de transport à employer, et la distance moyenne pour chaque mode. Ce tableau est obligatoire pour l'entrepreneur qui a toutefois la faculté de substituer un mode de transport à un autre, sous la condition expresse qu'il ne sera apporté aucune modification dans les prix.

Les distances moyennes, vérifiées et acceptées par l'entrepreneur, servent aux règlements des comptes.

ART. 74. — *Règlement du prix pour les terrassements de grandes tranchées.* — Lorsqu'une tranchée présente quelque importance, et aussitôt que l'entrepreneur a reconnu l'exactitude des profils en travers et des sondages, on applique aux cubes des terres le prix de la série résultant des distances moyennes de transport. La somme totale ainsi obtenue, divisée par le cube total des terres, donne le prix moyen de tous les terrassements ; un procès-verbal de cette opération constate le prix définitif auquel on est arrivé. Ce prix, ainsi obtenu et arrêté irrévocablement, devient un prix à forfait, pour chaque mètre cube de chacune desdites tranchées, sans que l'on ait égard ni à la distance, ni au mode de transport, et quels que soient les cubes trouvés par les métrés définitifs, qu'ils excèdent les cubes de l'avant-métré ou qu'ils leurs soient inférieurs.

Malgré la détermination du prix à forfait dont il vient d'être question, l'entrepreneur ne peut néanmoins, sans une autorisation formelle de l'ingénieur, modifier la distribution des terres qui a servi de base à la détermination des prix.

ART. 75. — *Transport à la brouette et au tombereau.* — La distance du transport de chaque déblai se mesure par la distance existant entre le centre de gravité de ce déblai et le centre de gravité du remblai. Lorsque le centre de gravité du remblai est au même niveau ou plus bas que le centre de gravité du déblai, la distance entre ces deux points s'évalue par la longueur de la ligne droite qui les réunit. Lorsque le centre de gravité du remblai est placé plus haut que celui du déblai, on suppose que l'on a d'abord

élevé les terres au niveau du centre de gravité du remblai en suivant la pente-limite supérieure correspondant au mode de transport employé et que le surplus du transport s'est fait en palier. On admet d'ailleurs que la ligne parcourue, soit en palier, soit en rampe, a été la ligne directe située dans le même plan vertical que les deux centres de gravité du déblai et du remblai. S'il arrive que la différence de niveau entre les deux centres de gravité soit assez grande pour qu'on ne puisse pas arriver de l'un à l'autre, par une ligne directe, sans dépasser la pente-limite supérieure, on admet que l'on fait un détour suffisant pour n'avoir pas à gravir de rampe plus forte que la limite supérieure.

Longueur des relais pour la voiture et pour la brouette. — Les fractions de relai peuvent s'évaluer par cinquièmes.

Art. 76. — *Conditions particulières au mode de transport par vagons.* — Lorsque les terrassements sont exécutés au moyen de vagons, il arrive souvent que la Compagnie fournit une partie du matériel d'établissement des voies provisoires.

Aussitôt que l'entrepreneur a amené à pied-d'œuvre les matériaux dont la fourniture est à sa charge, pour l'établissement de la voie et le matériel de transport, la réception en est faite par l'Ingénieur de la Compagnie. Ces matériaux et ce matériel ne peuvent être employés qu'après cette formalité.

Conditions d'établissement de la voie provisoire. Dimensions. — Après les travaux, l'entrepreneur doit rendre en bon état tous les matériaux qui lui ont été fournis par l'Administration.

Dans certains cas, les prix de la Série sont calculés de façon à être toujours les mêmes, que les tranchées soient exécutées par étages simultanés ou successifs, que les déchargements aient lieu à l'anglaise ou à l'aide de baleines. Ils comprennent généralement les frais quelconques des manœuvres, des passages à niveau, des changements et croisements de voie, etc. (14-15).

Dans d'autres cas, au contraire, quand les ingénieurs ont prescrit le déchargement des vagons par baleine, l'entrepreneur a droit à un supplément de prix par mètre cube, et en outre à la moitié de la valeur de la baleine, mais à la condition absolue que le cube déchargé dans le chantier où sera établie la baleine, atteindra un chiffre déterminé.

Le réemploi dans un nouveau chantier d'une baleine déjà mise en œuvre est payé comme second emploi de bois et fers prêtés pour ouvrages provisoires, le supplément de prix pour déchargement restant le même.

Art. 77. — *Ponts de service.* — Les ponts de service pour le passage des terres aux points où doivent être élevés des ouvrages d'art sont payés aux

prix de la Série. L'Ingénieur est seul juge de l'opportunité de ces ponts dont il fournit les dessins d'exécution.

ART. 78. — *Gazonnements, Semis et plantations.* — Toutes les mains-d'œuvre indiquées aux articles 34, 35, 37, sont prises en considération dans les prix de la Série. Les gazonnements, semis et plantations sont payés au mètre superficiel (82, 83, 84).

ART. 79. — Les chaussées empierrées ou pavées sont mesurées au mètre superficiel; les bordures des trottoirs au mètre courant.

L'Ingénieur fait des sondages pour s'assurer de l'épaisseur des chaussées d'empierrement et contrôler le métrage fait à l'avance et sur place des matières employées à leur construction (Chap. II, § 6).

§ 2. — MAÇONNERIES

ART. 80. — *Foisonnement de la chaux. Dosage du mortier et du béton.* — Expériences faites dans chaque cas pour déterminer ce foisonnement (53). Dans le cas où le foisonnement est supérieur à celui fixé par la Série, l'Ingénieur peut refuser la chaux ou l'admettre en modifiant la Série de prix.

L'application des prix pour le mortier et la quantité de mortier employé dans le béton a lieu d'après les dosages définitivement adoptés par l'ingénieur (56).

ART. 81.— *Bétons.* — Le volume des bétons et mortiers maigres employés pour le remplissage des tympans est mesuré sur place après l'emploi. Le béton employé, soit à sec, soit dans les fouilles hermétiquement closes, se mesure sur place, après l'emploi au moyen de profils en travers pris avant et après sa mise en œuvre (57).

Le béton immergé dans les enceintes de fondations en pilotis ou en vannage est mesuré après fabrication, dans des caisses prismatiques; quand il s'agit de régler le travail, on fait une certaine déduction, à déterminer par expérience, sur le cube ainsi obtenu, pour tenir compte du tassement en œuvre.

ART. 82. — *Maçonnerie de pierre de taille.* — Le cube de la maçonnerie de pierre de taille est compté d'après les dimensions réelles en œuvre ; seulement, pour les plinthes, les corniches et les pierres portant moulures, on comptera comme section celle du plus petit polyèdre circonscrit.

Pour les pierres évidées formant un angle rentrant, on ne tient pas compte du cube évidé, le prix porté à la série pour la façon des évidements compre-

nant le déchet. Il en est de même pour les évidements biais ou à pans coupés.

Art. 83. — *Maçonnerie de moellons.* — Le volume des maçonneries est établi d'après les attachements pris en cours d'exécution, contradictoirement avec l'entrepreneur et en conformité des clauses et conditions générales.

Toutefois l'entrepreneur n'est pas admis à réclamer au-delà des dimensions cotées qu'il aura dû recevoir avant de commencer chaque ouvrage. Le cube total de la maçonnerie comprend aussi bien le moellon à surface parmentée que le moellon de remplissage. Tous les vides sont déduits.

Il n'est admis aucun supplément pour la maçonnerie de moellons bruts. Les frais de confection de la maçonnerie de moellons à surface parmentée sont couverts par des prix de main-d'œuvre de parements vus et de rejointoiements qui sont alloués pour ces objets à la Série de prix, et qui comprennent ensemble la façon et le déchet du moellon, sa pose et toutes les fournitures et mains-d'œuvre nécessitées par l'exécution des maçonneries et celles de leur rejointoiement.

Art. 84. — *Taille, ragréement et rejointoiements.* — Le mesurage des tailles, ragréements et rejointoiements se fait à la surface et sans autres plus-values pour les parties courbes et refouillées et pour les angles saillants et rentrants, que celles stipulées dans la Série.

On ne compte et on ne paye d'ailleurs comme parements que les surfaces qui resteront véritablement vues après l'achèvement de tous les travaux, et on ne tient aucun compte des surfaces qui doivent être recouvertes par un enduit de mortier ou plâtre.

Art. 85. — *Chapes.* — Les chapes sont mesurées au mètre superficiel, mais en modifiant le prix porté à la Série proportionnellement à la différence entre les quantités de matériaux qui y sont consignées et celles qui sont réellement employées.

Art. 86. — *Enrochements.* — Les enrochements sont généralement emmétrés et mesurés sur la berge avant l'échouage.

Art. 87. — *Dispositions générales.* — Les prix de main-d'œuvre des maçonneries sont établis dans l'hypothèse d'une hauteur moyenne déterminée, si cette hauteur est dépassée, il y a lieu d'ajouter un supplément de prix pour tenir compte des échafaudages plus spacieux et de l'augmentation des frais de bardage des matériaux. Ce supplément de prix est établi pour chaque cas particulier.

§ 3. — CHARPENTES, MÉTAUX, PEINTURES, ETC.

ART. 88. — *Charpentes.* Les ouvrages de charpente sont ordinairement mesurés suivant les longueurs apparentes des pièces en œuvre, sans égard pour les tenons, queues d'aronde, traits de Jupiter et autres assemblages qui sont comptés comme déchets dans l'analyse des prix.

L'équarrissage des pièces délardées ou refouillées est estimé sur les dimensions du plus petit rectangle circonscrit à la pièce en œuvre.

A défaut d'indication dans la série de prix, les bois et fers des cintres, ponts de service, batardeaux et autres ouvrages accessoires, sont repris par l'entrepreneur pour les deux tiers de leurs prix.

L'entrepreneur est tenu de faire à ses frais la démolition et l'enlèvement de ces bois et fers ; tous les faux frais, y compris échafaudages, pertes de bois, etc., restent à sa charge. Les prix de charpente comprennent d'ailleurs ordinairement, tous les refouillements nécessaires dans les maçonneries, la pose de tous les fers relatifs à ces charpentes, les scellements et la mise en place définitive des bois.

ART. 89. — *Métaux.* — Les pièces en métal sont payées d'après leur poids réel, en tant qu'il ne diffère pas de 4 % du poids demandé : tout excès au delà de cette tolérance n'est pas compté.

Le pesage des pièces se fait lorsqu'elles sont rendues à pied-d'œuvre, contradictoirement avec l'entrepreneur et à ses frais.

S'il y a déficit en dehors de la tolérance fixée, le poids total de la fourniture est réduit dans la proportion de la différence trouvée et du résultat obtenu.

Le prix du kilogramme comprend tous les frais de fourniture, main-d'œuvre, modèles, transport, pose et emploi.

ART. 90. — *Peintures.* — Les peintures sont payées au mètre carré pour l'ensemble des couches prescrites ; des prix spéciaux par couche, sont fixés pour les couches supplémentaires.

ART. 91. — *Goudronnage.* — Le goudronnage est payé pour chaque couche et le prix indiqué à la Série pour cet objet renferme tous les frais accessoires tels que : chauffage, fournitures de bois etc.

ART. 92. — *Asphalte.* — Les mastics bitumeux employés, soit pour chapes, soit pour dallages sont payés au mètre superficiel ; les couches de béton sur lesquelles ces mastics sont étendus sont payés au prix ordinaire, fixé par la Série pour ce genre d'ouvrage.

CHAPITRE VI

Conditions particulières et générales

§ 1. RÉSERVES POUR TRAVAUX EN RÉGIE ET AUTRES TRAVAUX ET FOURNITURES, ETC.

ART. 93. — *Travaux faits en régie.* — Les travaux pour lesquels des prix spéciaux ne sont pas indiqués dans la Série, tels que : les épuisements pour la fondation des ouvrages d'art, les batardeaux, les étrésillonnements lorsqu'ils sont jugés nécessaires et ordonnés par écrit, les battages de pieux et palplanches, les fournitures de ciment de Vassy, le bitume, les scellements, etc. sont exécutés par voie de régie, sous la direction et la surveillance des ingénieurs ou de leurs agents. Cependant ces travaux sont faits autant que possible par l'entrepreneur, sur prix convenus, et on n'a recours à des régies complètement distinctes qu'autant qu'il n'accepterait pas les prix qui lui sont offerts ou n'exécuterait pas les travaux avec tout le soin et les précautions désirables.

En ce qui concerne le battage des pieux et palplanches, le prix en est réglé par mètre courant de fiche, après expériences, et l'entrepreneur doit se conformer aux conditions exprimées dans l'article 64.

L'Ingénieur conserve toujours le droit, pendant la durée de ces travaux, de les retirer à l'entrepreneur pour les faire faire par des ouvriers à la journée, dans le cas où il ne se conformerait pas exactement aux ordres et aux instructions qui lui seraient donnés.

ART. 94. — *Fontes, fers, tôles, distraits de l'entreprise.* — Les fontes, fers, tôles, destinés à former les parties importantes de quelques-unes des constructions du chemin de fer, telles que : ponts, colonnes peuvent faire l'objet d'entreprises spéciales, si l'administration le juge convenable, quelles que soient les indications de la série de prix.

Cette réserve s'applique aussi aux fers à T employés soit isolément, soit avec des charpentes pour former des poutres, des ponts ou des viaducs

ART. 95. — *Travaux de terrassements qui pourraient être distraits de l'entreprise.* — Si les ingénieurs jugent convenables d'employer des locomotives pour le transport des terres, ou de faire usage de machines nouvelles pour l'enlèvement des déblais, il y a lieu d'établir des prix spéciaux pour ce nouveau mode de transport ou d'enlèvement des déblais.

S'il convient à l'Administration de faire exécuter des remblais au moyen de

décharges publiques ou de terres provenant de fouilles particulières, en dehors des travaux de l'entreprise, ou si des particuliers, dans leur intérêt et du consentement de l'Administration, veulent exécuter des déblais ou des enlèvements de terre sur la ligne du chemin de fer, ces travaux sont détachés de l'entreprise, sans indemnité pour l'entrepreneur.

Art. 96. — *Matériaux trouvés dans les fouilles.* — Les matériaux rencontrés dans les déblais appartiennent à l'administration, et doivent avec l'ordre de l'Ingénieur, être mis en dépôt pour être utilisés, soit dans les ouvrages d'art, soit dans les travaux accessoires compris ou non compris dans l'entreprise, aux prix spéciaux portés à la série pour cet objet, et avec conditions y énoncées. Lorsqu'ils sont utilisés, dans les ouvrages dépendant de l'entreprise, il est tenu compte, en outre, des mains-d'œuvre et des transports supplémentaires que cet emploi peut nécessiter.

Art. 97. — *Objets trouvés dans les fouilles.* — L'administration du chemin de fer se réserve la propriété exclusive de tous les objets d'art ou d'histoire naturelle, tels que : bas-reliefs, inscriptions, médailles, cristallisation, fossiles, etc., qui peuvent être découverts dans les fouilles.

L'entrepreneur renonce formellement par le seul fait de sa soumission, pour lui-même et pour ses ouvriers, au bénéfice de l'article 716 du code civil. Ces objets, s'il en rencontre, sont extraits et conservés avec soin par l'entrepreneur et remis par lui à l'ingénieur en chef.

Art. 98. — *Maintien de la circulation pendant la durée des travaux.* — L'entrepreneur doit disposer les ateliers aux abords des voies de communication modifiées, de manière à ne jamais interrompre la circulation et à la gêner le moins possible. Les barrières de défense, les frais d'entretien et d'éclairage sont à sa charge, et il demeure responsable de tous les accidents qui auraient lieu sur ces points, par suite de sa négligence.

Art. 99. — *Divers frais à la charge de l'entrepreneur ou de l'administration.* — (A déterminer pour chaque cas particulier).

L'entrepreneur prend à sa charge, sans recours contre l'administration :

— Tous les frais d'échafaudages ordinaires, tous les droits d'octroi et autres sur les matériaux.

— Les contributions qui peuvent être exigées, aux termes des lois existantes, pour la réparation des chemins vicinaux ou autres dégradés par le passage des voitures ou tombereaux employés par l'entrepreneur.

Sont au contraire à la charge de la Compagnie :

1° Les ponts de service et les cintres pour les ponts de plus de 8 mètres d'ouverture.

2° Les indemnités à payer ou les acquisitions de terrains à faire pour dépôts ou emprunts de terrassements.

Art. 100. — *Abris pour les conducteurs de travaux.* — Pour les travaux entraînant une durée de plus de 15 jours, l'entrepreneur doit construire une baraque en planches, garnie d'une table et autres meubles permettant au conducteur chargé de la surveillance, de faire ses écritures et ses dessins d'attachements. Cette baraque doit être indépendante de celle qui doit servir d'abri aux ouvriers ou de magasin pour les outils.

Lorsqu'il s'agit d'un ouvrage de très grande importance et dont la construction doit se prolonger pendant une campagne au moins, l'établissement du bureau de service reste à la charge de l'administration.

Art. 101. — *Responsabilité de l'entrepreneur en cas d'accidents.* — L'entrepreneur est responsable de tous dommages et dégradations qui auraient lieu sur les ateliers ou à leurs abords et qui pourraient être attribués à la présence des travaux.

Il est aussi personnellement et seul responsable des conséquences de tout accident résultant de ces travaux.

Il est tenu de garantir l'administration des suites de toute action dirigée contre elle pour des faits de cette nature, à moins que ces faits ne soient le résultat d'une imprudence directement imputable à elle ou à ses agents.

Art. 102. — *Faux frais pour rendre la place nette après l'achèvement des travaux.* — L'entrepreneur est tenu, au moyen des prix fixés par la série et diminués du rabais de l'adjudication, de rendre, après chaque travail, la place nette et vide de décombres.

§ 2. — DISPOSITIONS RELATIVES AU MÉTRÉ ET A LA RÉCEPTION DES TRAVAUX

Art. 103.— *Application des prix.* — La valeur des travaux est réglée, sauf le rabais, d'après la série de prix annexée au marché. Les prix de cette série sont appliqués au métrage réel des ouvrages.

Art. 104. — *Changements non prévus au devis.* — Dans le cas où l'administration autorise ou ordonne, soit l'exécution d'ouvrages, soit l'emploi de matériaux, soit des modifications de main-d'œuvre ou de matière dont les valeurs n'ont pas été prévues, soit même un changement de direction dans l'emploi des matériaux, les prix à appliquer sont établis conformément à la stipulation d'un article spécial de la série de prix.

Art. 105. — *Changements dans les prix de main-d'œuvre ou de matériaux.* — L'entrepreneur ne peut obtenir d'indemnité à raison des

augmentations que la main-d'œuvre ou les matériaux pourraient éprouver pendant le cours de l'exécution du marché. L'administration ne peut également prétendre à aucune diminution pour la même cause.

ART. 106. — *Dimensions des matériaux.* — Les dimensions de matériaux, lorsqu'elles n'ont pas été fixées dans le devis ou la série de prix, le sont par un ordre de service de l'Ingénieur. (Annexes E et F).

ART. 107. — *Métré des ouvrages d'art.* — Les cubes des matériaux employés sont évalués d'après leurs formes réelles et estimés conformément aux règles de la géométrie, en n'admettant toutefois que les dimensions prescrites, soit par le devis général ou la série de prix, soit par les ordres de service écrits des ingénieurs, et sans avoir égard par conséquent, aux excédents de dimensions que l'entrepreneur pourrait donner aux matériaux et aux diverses parties des ouvrages, ni aux us et coutumes.

ART. 108. — *Examen des matériaux avant l'emploi.* — Les matériaux doivent provenir des localités indiquées au devis, être de la meilleure qualité, être parfaitement travaillés et mis en œuvre suivant les règles de l'art. On ne peut les employer qu'après examen par l'Ingénieur. (Art. 45 et 46).

ART. 109. — *Vérification des travaux.* — Les ingénieurs peuvent ordonner, soit en cours d'exécution, soit avant la réception définitive, la démolition et la reconstruction des ouvrages présumés vicieux. Les dépenses résultant de cette vérification sont à la charge de l'adjudicataire, lorsque des vices de construction ont été constatés et reconnus.

ART. 110. — *Tenue des attachements.* — Il est tenu, sur chaque chantier, par les conducteurs et piqueurs, des attachements partiels et réguliers de tous les ouvrages, accompagnés de plans et de profils cotés.

L'entrepreneur devra les accepter à mesure de l'avancement des travaux. En cas de contestation, il doit présenter ses observations dans la huitaine, après quoi il ne sera plus admis à réclamer. Néanmoins, ces attachements ne deviendront définitifs qu'après la vérification et l'approbation de l'ingénieur.

ART. 111. — *Cas de contestation pour l'exécution des ouvrages.* — En cas de contestation entre l'ingénieur et l'entrepreneur, relativement à la classification des déblais, aux attachements, au métrage ou à l'application des prix, il en est référé à l'ingénieur en chef, qui applique la règle admise dans le service des ponts et chaussées, et qui prononce en dernier ressort, l'entrepreneur renonçant à tout recours contre sa décision. L'intervention d'arbitres est plus équitable.

Art. 112. — *Sous-traités.* — Pour que les travaux ne soient pas abandonnés à des spéculateurs inconnus ou inhabiles, l'entrepreneur ne peut céder tout ou partie de son entreprise.

Dans le cas où l'administration autoriserait des sous-traités de quelque importance, les sous-traitants ne seraient pas reconnus par elle ; ils ne seraient considérés que comme des agents de l'entrepreneur, et révocables en conséquence comme celui-ci.

Art. 113. — *Présence de l'entrepreneur sur les lieux.* — Pendant la durée entière de l'entreprise, l'adjudicataire ne peut s'éloigner du lieu des travaux que pour affaires relatives à son marché, et qu'après en avoir obtenu l'autorisation.

Dans ce cas il choisit et fait agréer un représentant capable de le remplacer et auquel il donne pouvoir d'agir pour lui et de faire le payement aux ouvriers, de manière qu'aucune opération ne puisse être retardée ou suspendue pour raison d'absence de l'entrepreneur.

Art. 114. — *Choix des ouvriers,* — L'entrepreneur a soin de ne choisir pour commis, maîtres et chefs d'ateliers que des gens probes et intelligents, capables de l'aider et même de le remplacer au besoin dans la conduite et le métrage des travaux, il choisit les ouvriers les plus habiles et les plus expérimentés, et, néanmoins il demeure responsable en son propre et privé nom, comme en celui de sa caution, des fraudes ou malfaçons que ses agents peuvent commettre sur les fournitures, la qualité et l'emploi des matériaux.

Art. 115. — *Action sur les agents, ouvriers, etc.* — L'ingénieur aura le droit d'exiger le changement ou le renvoi des agents ou ouvriers de l'entrepreneur pour cause d'insubordination, d'incapacité ou de défaut de probité.

§ 3. — DISPOSITIONS GÉNÉRALES POUR L'EXÉCUTION DES TRAVAUX

Art. 116. — *Ordre et délai d'exécution.* — Les travaux seront exécutés dans l'ordre prescrit par l'ingénieur en chef.

Art. 117. — *Mise en activité des travaux.* — L'entrepreneur est tenu de commencer ses approvisionnements aussitôt qu'il est mis en demeure par un ordre écrit de l'ingénieur en chef ; il doit ouvrir les ateliers et commencer les travaux quinze jours au plus tard après cette mise en demeure ; huit jours après, le nombre de ses ouvriers et ses moyens de travail doivent être constamment proportionnés à l'importance de l'entreprise et à la nature des engagements pris pour le temps d'exécution.

Art. 118. — *Mise en demeure.* — L'entrepreneur doit imprimer aux

travaux toute l'activité convenable, à cet effet, l'ingénieur a le droit, après avoir mis l'entrepreneur en demeure par un simple avertissement écrit, de pourvoir aux frais, risques et périls de cet entrepreneur, à la portion du service qui a été laissée en souffrance.

ART. 119. — *Résiliation.* — Dans le cas où l'entrepreneur ne remplit pas exactement toutes les conditions du marché, le conseil d'administration a le droit de résilier ce marché, sur le rapport de l'ingénieur en chef.

Cette résiliation est suivie immédiatement du réglement des travaux exécutés, sous toutes réserves de droit.

Il n'est tenu compte à l'entrepreneur que des travaux réellement faits et reçus, et ce toujours avec le rabais résultant du marché. Il ne peut prétendre à une indemnité ou dédommagement ni pour les dépenses d'approvisionnement, ni pour les bénéfices qu'il aurait pu faire sur son entreprise.

ART. 120. — *Cautionnement* — L'entrepreneur fournit pour garantie de la bonne et entière exécution des travaux, un cautionnement dont le montant et la nature sont déterminés par le traité général annexé au cahier des charges.

ART. 121. — *Garantie.* — Comme garantie des engagements de l'entrepreneur envers l'administration, il lui est fait une certaine retenue sur le montant des travaux, retenue qui lui est rendue suivant les stipulations du traité général.

ART. 122. — *Réception provisoire.* — *Délai de garantie.* — La réception provisoire n'a lieu qu'après l'entier achèvement de la totalité des travaux dans chaque section ou arrondissement d'ingénieur.

Dans toute circonstance, la réception provisoire est opérée de droit par le seul fait de la mise en exploitation de chaque section.

Les délais de garantie sont de 6 mois pour les terrassements, et d'un an pour les ouvrages d'art. Ils commencent à dater de la réception provisoire.

La réception définitive n'a lieu qu'après l'expiration des délais de garantie. L'entrepreneur devra, jusqu'à cette époque, entretenir en bon état toutes les parties du chemin en ce qui concerne les terrassements et ouvrages d'art.

ART. 123. — L'entrepreneur devra se conformer :

— Aux clauses et conditions générales imposées aux entrepreneurs par l'administration.

— Aux prescriptions du cahier des charges de la loi de concession.

ANNEXE E

SPÉCIFICATIONS D'OUVRAGES D'ART

Une spécification est une extension de certains articles du cahier des charges général, indiquant d'une manière plus précise les mesures et précautions à prendre, les conditions à remplir dans l'établissement d'un ouvrage d'art déterminé. Cette spécification est remise par l'ingénieur à l'entrepreneur ou à l'agent chargé de l'exécution, en même temps que les dessins et devis de l'ouvrage.

La spécification, tout en restant conforme au cahier des charges général, indique plus particulièrement la provenance des matériaux et l'espèce de maçonnerie à employer pour chacune des parties de l'ouvrage à construire, les dimensions spéciales de certaines pierres et leur taille, le mode d'exécution des fouilles et fondations, enfin toutes les circonstances qui ne peuvent être prévues dans le cahier des charges.

Il arrive quelquefois que cet ordre de service doit être modifié ou complété par d'autres pendant l'exécution même de l'ouvrage, la spécification comprend alors l'ensemble de tous ces ordres de service.

Les dessins et devis d'un ouvrage doivent toujours être accompagnés d'une spécification, si l'on veut assurer la parfaite exécution de cet ouvrage.

OUVRAGES EN MAÇONNERIE

CHEMINS DE FER DE . . . . .

LIGNE DE . . . . . A . . . . . .

SPÉCIFICATION DES TRAVAUX DU VIADUC DE

à mètres du piquet n°

Provenance des matériaux. — La chaux se tirera des fours de. .

Le sable du ruisseau de.... près de....

La pierre de taille des carrières de....

Les moellons bruts et les moellons piqués des carrières de....

La pierre concassée pour béton sera de....

Fouilles de fondations. — La fouille des fondations sera verticale, ce

qu'admet la nature du terrain ; le périmètre de cette fouille sera exactement du béton, tel qu'il est coté au projet.

Extinction de la chaux. — Le bassin pour l'extinction de la chaux sera divisé en deux compartiments, ou, si l'entrepreneur le préfère, on creusera deux bassins distincts qui seront revêtus de plats-bords maintenus par des piquets en bois. Ces plats-bords seront garnis de glaise pour que l'eau ne s'échappe pas au moment de l'extinction.

L'extinction se fera par fusion, en suivant le procédé indiqué par M. Vicat et qui consiste à répandre la chaux vive dans le fond du bassin, et à la régaler par couches de $0^m,20$ à $0^m,25$ d'épaisseur. On y versera de l'eau de manière qu'elle pénètre bien tout le volume de chaux qui a été répandu. Quand l'effervescence aura lieu, on ajoutera alternativement de la chaux et de l'eau sans brasser. Si quelque partie de chaux fusait à sec, on y amènerait de l'eau par des rigoles que l'on tracerait légèrement avec la pelle. De temps en temps on enfoncera un bâton dans les endroits où l'on croira que l'eau a pu manquer. Si le bâton sort enduit d'une chaux gluante, l'extinction sera bonne. Si, au contraire, il se dégage du trou une fumée farineuse, c'est que la chaux fuse à sec. Dans ce cas, on élargirait le trou, on en ferait d'autres à côté et on y verserait de l'eau.

La chaux ainsi éteinte ne devra être employée qu'après vingt-quatre heures environ. C'est pour satisfaire à cette prescription qu'il a été recommandé d'ouvrir deux bassins. On remplira l'un à la fin de la journée et lorsque le premier sera sur le point d'être épuisé.

Fabrication du mortier et béton. — Le mortier se fabriquera au rabot. Le mortier et le béton se composeront suivant les proportions établies dans le cahier des charges, savoir : — Pour le mortier, un volume de chaux éteinte et deux volumes de sable.

— Pour le béton deux volumes de mortier et trois volumes de pierres concassées.

La manipulation du béton et du mortier se fera suivant toutes les précautions prescrites au cahier des charges (Art. 48 et suivants).

Pose du béton. — Le béton, transporté à pied d'œuvre, sera regalé et pilonné comme il est prescrit au cahier des charges (Art. 49 et suivants).

Taille des moellons piqués. — Les moellons piqués seront taillés à la boucharde sur leur face, entourés d'une ceinture de $0^m,025$ de largeur (Art. 21). Ils seront de grès rouge et d'un grain moyen.

Parement des pierres de taille. — La pierre de taille sera de grain fin et de couleur uniforme. Les faces de tête des chaînes d'angle et des vous-

soirs seront taillées à la boucharde et relevées d'une ciselure de $0^m,03$ de largeur et en retraite de $0^m,006$ à 0,007 sur le parement à la boucharde (Art. 19). Toutes les autres faces seront parmentées à la laie.

Les autres parties de l'ouvrage, qui ne sont pas traitées dans la présente spécification, feront l'objet d'un nouvel ordre de service.

ORDRE DE SERVICE DU . . . . . 18 . . .

Pierre de taille. — Les surfaces vues de la pierre de taille seront parmentées à la laie, à deux reprises.

Le socle ou soubassement aura $0^m,60$ de hauteur.

Les pierres d'angles des culées et des murs en aile auront $0^m,30$ de hauteur. A l'angle de la culée, elles auront alternativement $0^m,75$ et $0^m,60$ de longueur dans les pieds-droits, et $0^m,50$ et $0^m,35$ dans le plan de tête ; à l'angle rentrant du mur en aile, elles auront alternativement 0,27 et 0,42 de longueur dans le plan de tête et $0^m,20$ et $0^m,10$ dans le plan du mur en aile.

La treizième assise, en partant du soubassement, aura $0^m,44$ de hauteur dont $0^m,14$ formeront une astragale. Cette assise régnera sur toute la longueur de la culée sur le plan de tête et sur le mur en aile, où elle viendra se terminer contre la crossette du rampant.

Elle se trouvera naturellement en saillie de $0^m,02$ sur le moellon piqué.

La quatorzième assise aura $0^m,46$ de hauteur, dont $0^m,20$ seront employés pour les moulures de la corniche ; elle se prolongera sur le mur en aile pour en faire le couronnement.

Les dés auront les dimensions indiquées au projet. Ceux à l'extrémité des murs en aile auront 0,59 de largeur sur 0,66 de longueur ; ils seront couronnés par une pointe de diamant de 0.03 de hauteur.

En prolongement de chaque assise de pierre de taille, le couronnement du mur en aile sera formé par une crossette, dont la base aura $0^m,45$ et la longueur suivant le rampant $0^m,54$.

La crossette juxtaposée au dé aura la forme indiquée par le dessin d'appareil, celle qui correspond à la seizième assise aura la hauteur de $0^m,44$.

Moellons piqués. — Les moellons piqués se trouveront en retraite de $0^m,02$ sur le plan du parement de la pierre de taille qui lui-même sera en retraite de $0^m,02$ sur le parement du soubassement. D'où il suit que le parement de la maçonnerie de moellons piqués sera en retraite de $0^m,04$ sur le parement du soubassement.

ORDRE DE SERVICE DU. . . . . 18 .

Pilotage et exécution des fondations. — Les pilots à employer pour les fondations du pont seront au nombre de quarante-trois pour chacune des culées et les murs en aile. Ils seront disposés de la manière indiquée au projet ci-joint. La longueur de chaque pilot sera de 7 mètres; le diamètre moyen sera de $0_m,30$.

Battage des pilots. — Chaque pilot sera soigneusement aiguisé en pointe, mais on n'y adoptera pas de sabot en fer; la pointe sera simplement durcie au feu.

Les pilots seront enfoncés jusqu'au niveau du plan de recépage indiqué au projet, à moins qu'il ne se soit manifesté avant, un refus de $0^m,075$ par volée de trente coups d'un mouton de 400 kilogrammes tombant de $1^m,20$ de hauteur, auquel cas on continuerait encore à battre le pilot de quatre volées consécutives pour s'assurer que le refus est bien réellement de $0_m,005$.

L'entrepreneur devra avoir sur le chantier deux sonnettes, afin d'activer, autant que possible, le battage des pilots.

La sonnette sera placée sur le sol naturel.

Des jumelles y seront fixées pour diriger le mouvement du mouton, et afin que la tête du pilot puisse arriver au plan de recépage sans l'intervention de faux-pieux.

Grillage. — Les pilots ayant été battus jusqu'au refus de 0,005 seront recépés à la hauteur indiquée au projet.

Sur la tête des pilots sera posé un chapeau ou traversine de $0^m,30$ sur $0^m,25$ d'équarrissage, et qui sera fixé sur les pilots au moyen d'un clou barbelé d'environ $0^m,50$ de longueur

Sur les traversines seront posées des longuerines également de $0^m,30$ sur $0_m,25$ d'équarrissage. Elles seront assemblées au moyen d'une entaille de $0^m,025$ qui aura aussi lieu dans les traversines, de telle sorte que la hauteur totale des deux pièces ne sera que de $0^m,45$. Ce grillage sera en bois de chêne équarri au quart de la circonférence.

Enrochement et plancher. — Dans le fond de la fouille, entre les pilots et les cases formées par le grillage, on fera un enrochement en moellons bruts jusqu'au niveau supérieur des longuerines. On placera ensuite le plancher en madriers de chêne de 0,10 d'épaisseur, puis on continuera l'enrochement jusqu'à $0^m,50$ au-dessus du plancher, mais en élevant une maçonnerie en pierre sèche dont le parement suivra le contour du plancher et formera ainsi un encaissement de $0_m,80$ de profondeur pour recevoir la couche de béton.

L'entrepreneur devra approvisionner, pour ces enrochements, un cube de 60 à 70 mètres carrés de moellons. Ils seront emmétrés et l'attachement en sera pris avant l'emploi.

Pont provisoire pour le passage des vagons. — Les maçonneries du pont étant arrivées à la hauteur de la douzième assise au-dessus du soubassement, on jettera sur les deux culées un tablier provisoire en charpente, qui sera composé comme suit :

6 poutres en sapin	de 6m,50 de long.	0m,25 de larg.	0m,30 de haut.
7 pièces de pont	9 ,00 —	0 ,20 —	0 ,15 —
2 garde-grèves.	6 ,50 —	0 ,15 —	0 ,15 —
8 montants de garde-corps . ..	1 ,10 —	0 ,10 —	0 ,10 —
2 lisses	6 ,00 —	0 ,10 —	0 ,10 —
2 lisses intermédiaires . . .	5 ,75 —	0 ,08 —	0 ,08 —
1 plancher	8 ,50 —	5 ,00 —	0 ,10 —

CHEMINS DE FER DE . . . . . .

LIGNE DE . . . . . A . . . . . .

Spécification du pont sur le. . . . . . .

Fondations. *Fouille.* — Les talus de la fouille seront inclinés à 1 de base sur 2 de hauteur, jusqu'au niveau du radier.

Bordages en chêne. — Deux bordages en chêne de 14m,40 de longueur chacun seront établis, l'un en amont, l'autre en aval du radier. Ces bordages se composeront :

De quatorze pièces de 3 mètres de longueur chacune, et de 0m,25 d'équarrissage.

De quatorze moises de 57m,60 de longueur totale, et de 0,20 d'équarrissage.

De palplanches de 0m,08 d'épaisseur, et de 2m,50 de longueur.

Ces bois pour les pieux et moises seront équarris au $\frac{1}{4}$ de la circonférence du grume.

Les moises seront reliées deux à deux à chaque pièce au moyen de boulons de 0m,02 de diamètre et 0m,53 de longueur.

Béton. — Le béton sera employé dans les fondations suivant les indications du dessin.

Radier. — Une bordure en maçonnerie de pierre de taille de 0m,60 de largeur et de 0m,35 d'épaisseur sera établie le long de chaque bordage en

chêne sur 9m,60 de longueur. Une bordure de 0m,90 de largeur et de 0m,35 d'épaisseur régnera le long des culées et servira d'assiette au socle comme l'indique le dessin.

Le parement vu de ces bordures sera simplement dégrossi, comme les lits et joints.

Le radier compris entre les bordures ci-dessus indiquées sera pavé en maçonnerie de moellons smillés de 0m,29 de queue uniforme.

Élévation. — MAÇONNERIE DE PIERRE DE TAILLE. *Socle des culées.* Le socle des culées (dont la largeur est égale à celle des culées) sera formé d'une seule assise de 0m,65 de hauteur disposée alternativement par carreaux et par boutisses.

Les carreaux auront 0,65 de queue et les boutisses 0,75.

Socle des murs de tête. — Le socle des murs de tête aura 1 mètre de queue.

Soubassement. — La pierre de taille du soubassement des murs de tête (autre que celle des chaînes angulaires) sera disposée alternativement par carreau de 0m,43 et boutisses de 0m,57 de queue.

Imposte. — L'imposte sera disposée comme le socle des culées par carreaux et boutisses, et sa queue moyenne sera également de 0m,70.

Archivolte. — L'archivolte sera exécutée avec des cornes de vaches et les claveaux seront extradossés sans redans ni liaisons avec les moellons piqués.

Plinthes. — Les plinthes auront une largeur uniforme de 0m,75 et le parement intérieur (du côté des voies) sera dressé à 0m,15 de hauteur verticale. Le dressage sera fait comme celui des lits et joints, dont la main-d'œuvre est comprise dans le parement vu.

Parapets. — Les parapets peuvent être posés de champ par exception.

MAÇONNERIES DE MOELLONS PIQUÉS. — *Moellons piqués pour parement droit.* — Les tympans et les pieds-droits seront exécutés en moellons piqués.

La longueur de ces moellons sur le parement vu, ne sera ni inférieure au double, ni supérieure au quadruple de leur hauteur.

Ils seront alternativement disposés par carreaux et par boutisses.

Les carreaux auront 0m,25 de queue et les boutisses 0m,33.

Indépendamment des boutisses ci-dessus, on posera à chaque assise, à des distances de 4 en 4 mètres, des boutisses de 0m,60 de queue au moins.

Ces dernières boutisses seront distribuées de manière que, d'une assise à l'autre, elles ne se trouvent pas superposées.

La maçonnerie exécutée comme il vient d'être dit sera comptée à $0^m,29$ d'épaisseur moyenne.

Voûte. *Moellons piqués.* — La douelle sera faite en maçonnerie de moellons piqués disposés par cours de $0^m,30$ et 0,40 de queue.

Deux assises de moellons piqués correspondront à chaque claveau de tête.

Moellons échantillonnés. — La voûte sera complétée par une maçonnerie ordinaire, litée en prolongement des plans des voussoirs, laquelle maçonnerie formera avec les moellons piqués ci-dessus les épaisseurs suivantes :

Aux naissances	1m20
Aux joints de rupture.	1,00
A la clef	0,67

Les maçonneries en dehors de ces dimensions seront comptées comme maçonnerie ordinaire.

Chapes. — *Chape en mortier.* — La voûte sera couverte d'une chape en mortier de chaux et sable de $0^m,05$ d'épaisseur.

Chape en bitume. — Une chape en bitume de $0^m,015$ d'épaisseur sera posée sur la chape en mortier.

Le dessus des murs en retour (derrière les plinthes) sera également recouvert d'une double chape, comme la voûte.

Garde-corps. — Il sera remis, plus tard, à l'entrepreneur un ordre de service spécial pour les fournitures des garde-corps.

Perrés. - En amont et en aval du pont il sera établi, sur 10 mètres de longueur, un perré de $0^m,29$ d'épaisseur moyenne.

Taille. — Le parement vu de la pierre de taille, y compris celui des bossages, sera taillé au ciseau large, à l'exception du parement du socle des culées qui sera rustique.

Le parement vu des moellons piqués sera taillé au peigne et entouré d'une ciselure de 0,03 de largeur.

Cintres. — Les cintres se composeront de sept fermes en sapin. Leur disposition sera conforme au dessin.

Provenance des matériaux. *Sable.* Le sable proviendra du lit de la ***

Gravier. — Le gravier sera extrait de la tranchée de *** et déduit du cube des terrassements.

Chaux. — La chaux proviendra des fours autorisés par l'article *** du cahier des charges.

L'entrepreneur produira avec chaque livraison, un certificat du maire attestant :

Les noms et demeure du chaufournier-fournisseur ;

Le cube à fournir ;

La date de la fourniture.

L'attestation ci-dessus n'impliquera pas la réception de la chaux.

MODE D'EXÉCUTION. *Extinction de la chaux.* — La chaux sera éteinte dans des bassins garnis de planches et isolés les uns des autres par des bourrelets en terre de $0^m,50$ de largeur ; au moins la surface de ces bassins sera au plus de 4 mètres.

On éteindra la chaux dans ces bassins, sur une couche de $0^m,40$ d'épaisseur au plus, et avant de verser l'eau, on aura soin de casser les morceaux de chaux de manière que les plus gros passent dans un anneau de $0^m,10$. On l'arrosera ensuite successivement avec la quantité d'eau nécessaire pour qu'après son extinction elle se réduise en pâte molle.

Mortier. — Le mortier se composera de deux parties de sable et d'une partie de chaux. Il sera fabriqué au moyen d'un manège à roue verticale.

Béton. — Le béton se composera de deux parties de mortier et de trois parties de gravier.

Dosage. — La chaux, le sable et le gravier employés à la fabrication du mortier et du béton, seront toujours mesurés dans une seule et même caisse dont les dimensions sont laissées au choix de l'entrepreneur.

A . . . . . LE. 18

ANNEXE F

PONTS MÉTALLIQUES

PROGRAMME DES DEVIS ET CAHIER DES CHARGES RELATIFS A LA CONSTRUCTION D'UN PONT SUR LE . . . .LIGNE DE . . . . A . . .

CHAPITRE PREMIER

Description des ouvrages à exécuter

ARTICLE PREMIER. — *Objet de l'Entreprise.* — Construction d'un pont sur le. . . . . .

ART. 2. — *Importance des travaux à la charge de l'Entreprise.* — Construction, fourniture, pose des différentes parties du pont.

Fourniture, transport à pied-d'œuvre et fabrication des matériaux.

Peintures; échafaudages; appareils nécessaires aux transports, au levage, à la pose, à l'exécution des fondations; pont de service.

Abords du pont.

ART. 3. — *Travaux à la charge de la Compagnie.* — La Compagnie se réserve ordinairement la fourniture à pied-d'œuvre des matériaux nécessaires à établir la voie sur le pont, de la pose de la voie et du plancher, enfin des perrés maçonnés où à pierre sèche, destinés à défendre les remblais du chemin de fer aux abords du pont.

ART. 4. — *Description générale de l'ouvrage.* — Situation du pont; nombre des voies; nombre de travées; ouverture de chaque travée; piles; culées.

Longueur totale de l'ouvrage.

ART. 5. — *Description du tablier.* — Nombre des poutres; contreventements; forme des poutres.

Hauteur du tablier au-dessus de la surface des eaux: étiage; crues.

Largeur du passage entre les poutres; hauteur nette entre le rail et le dessous du contreventement supérieur.

Longuerines supportant la voie; pièces de pont.

Plancher en madriers. Surcharge par mètre carré.

Trottoirs pour piétons. Largeur.

Rouleaux de dilatation.

ART. 6. — *Description des piles.* — Fondations. Caissons : forme et dimensions. Profondeur à laquelle doivent être descendus les caissons; hauteur du bord supérieur.

Forme et dimensions de la partie supérieure des piles, conformément aux dessins annexés.

Culées. — Caissons. Murs en ailes : dimensions, fruit.

Maçonnerie des piles et culées.

Portiques, au-dessus des culées, aux deux extrémités du pont.

CHAPITRE II

Qualité et provenance des matériaux

ART. 7. — *Fonte.* — Cassure; grain; couleur. Absence de défauts. Résistance aux outils; retrait au moulage, etc.

ART. 8.— *Tôles et fer.*— Cassure, texture, malléabilité. Laminage des tôles; résistance à la traction par millimètre carré; sans altération; jusqu'à la rupture.

Fers laminés; cornières, fers à T. Résistance.

Fers pour boulons, rivets. Ductilité, ténacité. Résistance à la traction jusqu'à la rupture; résistance au cisaillement.

ART. 9. — *Epreuves des matières premières. Surveillance de leur fabrication.* — Epreuves faites par la Compagnie aux frais du constructeur. L'entrepreneur indique à la Compagnie les usines auxquelles il désire faire ses commandes et ne traite avec elles qu'après y avoir été autorisé formellement.

Il reproduit dans ses marchés toutes les conditions qui lui sont imposées sur la qualité des matières premières, et réserve à un agent le droit de suivre la fabrication. Il justifie par les marques de fabrique et par la production des marchés eux-mêmes la provenance des matériaux employés.

ART. 10. — *Plomb.*

ART. 11. — *Sable et gravier.*

ART. 12. — *Briques.*

ART. 13. — *Pierre de taille.*

ART. 14. — *Ciment.*

ART. 15. — *Chaux.*

ART. 16. — *Mortiers.*

ART. 17. — *Bétons.*

ART. 18. — *Bois.*

ART. 19. — *Goudrons et couleurs.*

CHAPITRE III

Mise en œuvre des matériaux

Art. 20. — *Construction des piles.* — Soins à apporter à la construction des caissons.

Mode de descente des caissons.

Règlement et nettoyage du fond de la fouille pour chaque pile. Remplissage en maçonnerie.

Modifications apportées à l'enfoncement des caissons dans le courant de la construction.

Limites extrêmes.

Art. 21. — *Construction du tablier. Ajustage.* — Mode d'ajustage des tôles et fers spéciaux.

Tranches de toutes les pièces, tôles, fers, cornières, etc., dressées de façon à assurer à toute la surface des joints un contact parfait.

Couvre-joints. Travail des cornières et fers à T.

Fabrication des boulons.

Assemblages.

Art. 22. — *Perçage et rivure.* — Perçage des tôles conformément aux dessins d'exécution.

Tolérance d'excentricité sur les trous de rivets des fers et des tôles superposées. La différence doit d'ailleurs disparaître à l'écarrissoir.

Diamètre des trous et des rivets.

Soins à apporter à la rivure.

Les rivoirs et la forme de la bouterolle doivent être agréés par les ingénieurs de la Compagnie. Poids des marteaux à main et à devant.

Les rouleaux de dilatation seront tournés.

Art. 23. — *Montage et levage du tablier.* — Construction des poutres, à plat, sur des chantiers solidement établis. Hauteur des chantiers. Soins à prendre par l'entrepreneur suivant qu'il exécute le levage avec ou sans pont de service.

Ajustage à l'usine.

Art. 24. — *Application du goudron et de la peinture.* — Deux couches de goudron.

Préparation des couleurs. Deux couches au minium sur toutes les surfaces des fers et fontes sans exception; deux couches de plus au blanc de céruse pour toutes les parties hors de l'eau. Essais des tons avant l'emploi.

Art. 25. — *Surveillance dans les ateliers de l'entrepreneur et sur les chantiers de pose.* — Surveillance, vérification des dimensions.

L'entrepreneur fournit tous les instruments d'épreuves, gabarits de vérification, calibres, règles, etc.

CHAPITRE IV

Calculs de résistance et épreuves du Pont

Art. 26. — *Coefficients de travail.* — Travail des fers, des tôles. Travail des rivets au frottement des tôles par le serrage des têtes. Ce travail doit être nul au cisaillement.

Art. 27. — *Surcharges.* — Surcharge à appliquer au calcul des longerons, pièces de ponts, poutres, etc. Surcharge de tablier.

Art. 28. — *Formules de calcul.* — Formules employées.

Art. 29. — *Epreuves de réception.* — Epreuves faites, aux frais de l'entrepreneur, lors de la réception provisoire, et répétées, si la Compagnie l'exige, lors de la réception définitive. Elles consistent [1] :

— Dans l'application du poids mort;

— Dans le passage, sur le pont, d'un train composé de locomotives.

CHAPITRE V

Base du marché; Mode d'évaluation des ouvrages; Payements

Art. 30. — *Bases du marché.* — Montant du forfait. Pesanteur spécifique des métaux pour le métré.

Art. 31. — *Série de prix auxiliaire.* — Pour tenir compte de l'enfoncement variable des piles, pour la détermination des à-comptes à payer à l'entrepreneur, enfin pour l'évaluation de certains travaux supplémentaires qui peuvent être demandés, en cours d'exécution, par la Compagnie, on fait usage d'une série de prix auxiliaire.

En outre des prix à appliquer aux divers matériaux, cette série indique la somme à ajouter au forfait pour chaque demi-mètre d'augmentation dans l'enfoncement d'une pile et celle à retrancher pour chaque demi-mètre de diminution.

Art. 32. — *Usage de la série de prix.* — Mode de payement des prix indiqués à la série précédente.

1. Les flèches seront observées de préférence avec les appareils Parentoux.

Art. 33. — *Changements en cours d'exécution.* — La série de prix auxiliaire sert aussi à tenir compte de certains changements qui pourraient être apportés aux projets en cours d'exécution. Usage de la série dans ce cas.

CHAPITRE VI

Conditions diverses

Art. 34. — *Délai d'exécution.* — Longueur de ce délai. Limites.

Art. 35. — *Cas de force majeure.* — Cas qui doivent être considérés comme de force majeure. Compte à tenir des précautions qui ont été prises pour les prévenir.

Art. 36. — *Amende en cas de retard.* — Retenue faite à l'entrepreneur par jour de retard. Prime en cas d'avance.

Art. 37. — *Réception provisoire.* — Procès-verbal de réception provisoire, dressé contradictoirement entre le constructeur et l'ingénieur en chef, après un certain nombre de jours d'exploitation, le pont ayant satisfait à toutes les épreuves.

Art. 38. — *Délai de garantie.* — Ce délai part du jour de la réception provisoire. L'entrepreneur fait pendant ce délai toutes les réparations nécessaires à l'ouvrage.

Art. 39. — *Réception définitive.* — Elle a lieu à la fin du délai de garantie, si toutefois l'entrepreneur a satisfait à toutes les conditions requises.

Art. 40. — *Réserve sur la nature des terrains à excaver.* — Dans le cas où l'on doit traverser accidentellement des terrains exceptionnellement difficiles, les frais imprévus sont à la charge de la Compagnie.

Art. 41. — *Nature de la retenue de garantie.*

Art. 42. — *Mode de payement.* — Localités où ces payements doivent s'effectuer.

Art. 43. — *Chantiers du pont.* — Les chantiers sont mis à la disposition de l'entrepreneur par la Compagnie, et doivent lui être restitués avec la valeur de la dépréciation.

Art. 44. — *Situation de l'entrepreneur vis à vis des administrations publiques.* — L'entrepreneur doit satisfaire aux exigences des administrations publiques et payer toutes les indemnités auxquelles les travaux donneront lieu.

ART. 45. — *Droits de douane.* — Payements effectués par la Compagnie; payements effectués par l'entrepreneur.

ART. 46. — *Transports sur le réseau de la Compagnie.* — Prix de transport. Chargement et déchargement aux frais de l'entrepreneur.

ART. 47. — *Défense de céder le marché.*

ART. 48. — *Résiliation, jugement des contestations.* — Nomination d'arbitres pour prononcer la résiliation dans le cas où elle serait demandée par la Compagnie. Tous les jugements de contestations se font par des arbitres et sans appel.

ART. 49. — *Clauses et conditions générales.* — L'entrepreneur est soumis, sauf modification ou dérogation résultant du présent cahier des charges aux clauses et conditions générales imposées aux entrepreneurs des travaux exécutés pour le compte de la Compagnie.

ANNEXE G

PROGRAMME

D'UN

CAHIER DES CHARGES POUR LA FOURNITURE,
LE TRANSPORT,
LA POSE ET L'ENTRETIEN DES CLOTURES VIVES ET SÈCHES

ARTICLE PREMIER. — *Objet du cahier des charges.* — Etablissement des clôtures vives et sèches et entretien pendant dix ans sur la ligne de...

ART. 2. — *Importance de l'opération.* — Longueur du chemin de fer à enclore. Cette longueur est augmentée du développement complémentaire des prélèvements et dépôts et diminuée de celle des emplacements occupés par les barrières des passages à niveau, les clôtures exceptionnelles en maçonnerie, charpente ou treillages, enfin les fossés que la Compagnie se réserve le droit d'établir aux abords des stations ou de tout autre point où elle juge convenable, et sans que l'entrepreneur puisse élever de contestation à ce sujet.

La Compagnie se réserve en outre le droit :

— De fixer la longueur des clôtures vives et sèches que l'entrepreneur doit fournir, planter et poser, ou poser seulement dans chaque partie de la ligne;

— D'adopter pour le surplus tel système de clôture qui lui convient, et de faire exécuter ces clôtures spéciales par un entrepreneur à son choix.

— De réduire l'entreprise à telle longueur qu'elle juge convenable.

ART. 3. — *Etat d'indication.* — L'entrepreneur se conforme aux états d'indication qui lui sont remis par l'ingénieur de la Compagnie, pour l'exécution de tous les travaux, et ne peut commencer ces derniers qu'après avoir prévenu la Compagnie.

ART. 4. — *Direction à suivre* (1). — Position des clôtures vives et sèches (92-104).

1. Nous avons dit (chapitre IV, 92 et 104), que les clôtures sèches se placent à la limite de l'expropriation, et les haies à 0,50 de cette limite. Une bienveillante observation nous a rappelé que les clôtures ainsi disposées sont fréquemment bouleversées par les attelages ou les appareils de labour. Pour éviter cet inconvénient, il y aurait lieu, dans les terres soumises au labourage, de reculer de 0m,50 en dedans de la limite les clôtures sèches et vives, et de placer les premières à 0m,50 et les secondes à 1 mètre de la ligne des bornes. Mais cette disposition entraîne avec elle une augmentation de dépense d'acquisition de terrain.

CHAPITRE PREMIER

Fourniture, Plantation et entretien des clôtures vives.

Art. 5. — *Indication des diverses espèces de clôtures.* — Essences proposées par l'entrepreneur à la Compagnie, suivant la nature des terrains. Liste des essences qu'il pourra employer (92).

Art. 6. — *Quantité des plants de chaque espèce.* — Essences qui devront être employées plus spécialement dans telle ou telle partie de la ligne (92).

Art. 7. — *Justification.* — L'entrepreneur doit justifier de ses moyens d'exécution et de ses approvisionnements en essences de différentes espèces.

Art. 8. — *Age et qualité des plants* (93). — Les plants qui, ne satisfaisant pas à toutes les conditions, n'ont pas été mis de côté lors de la plantation, doivent être arrachés aux frais de l'entrepreneur et remplacés par lui.

Art. 9. — *Préparation du terrain* (93).

Art. 10. — *Plantation des haies.* — Distance des plants (93).

Art. 11. — *Epoques des préparations de terrain et plantation* (93).

Art. 12. — *Réception provisoire des haies.* — La réception provisoire des haies a ordinairement lieu dans le courant du mois de mai qui suit la plantation. Les haies qui n'ont pas été faites dans les conditions qui précèdent sont replantées par l'entrepreneur.

Art. 13. — *Entretien des haies.* — Indication des divers travaux d'entretien que doit exécuter l'entrepreneur (94).

Art. 14. — *Amendement du sol.* — Lorsqu'une partie de la haie languit pour une cause quelconque, l'entrepreneur améliore le sol et fait les travaux nécessaires pour la bonne venue des haies (94).

CHAPITRE II

Fourniture, pose et entretien des clôtures sèches.

Art. 15. — *Description des clôtures.* — Dimensions (92 et suivants).

Art. 16. — *Essence et qualité des bois.*

Art. 17. — *Quantités des bois fournies par la Compagnie.*

Art. 18. — *Transports de matériaux.*

Art. 19. — *Pose.* — Soins à apporter à la pose.

Art. 20. — *Piquets de consolidation.* — Partout où cela est nécessaire

notamment à la traversée des ruisseaux et aux abords des chemins et ouvrages d'art, la Compagnie peut exiger que l'entrepreneur renforce ou jonctionne la clôture par des piquets supplémentaires dont l'espacement est déterminé par les ingénieurs.

ART. 21. — *Réception.* — Mode de réception. Les matériaux refusés seront remplacés par l'entrepreneur. Les portions de clôture mal posées sont rétablies par lui.

ART. 22. — *Entretien des clôtures sèches.*

ART. 23. — *Enlèvement des clôtures sèches.* — L'entrepreneur enlève sucessivement les parties de clôture sèche correspondant à des parties de haies vives devenues complètement défensives et reconnues telles par les Ingénieurs de la Compagnie. Si ces clôtures sont bien conservées, elles peuvent servir à l'entretien.

CHAPITRE III

Clauses générales du traité.

ART. 24. — *Propriété des clôtures après la pose ou la plantation.* — Les clôtures vives et sèches, nonobstant le refus de réception qui peut en être fait ultérieurement, sont, par le seul fait de leur plantation ou pose, propriété de la Compagnie.

ART. 25. — *Délai de garantie.* — L'entrepreneur garantit les clôtures vives et sèches pendant un laps de temps commençant pour chacune des parties de sections, à dater de la réception provisoire de la dernière partie de section reçue. Pendant ce délai de garantie, l'entrepreneur reste chargé de l'entretien des clôtures vives et sèches.

ART. 26. — *Clôtures vives et sèches à établir pendant le délai de garantie.* — Pendant la durée de l'entreprise, l'entrepreneur doit exécuter les clôtures vives et sèches qui peuvent être ordonnées par la Compagnie dans l'étendue de l'entreprise.

La garantie, pour ces travaux, finit à l'expiration des dix années d'entretien fixées pour la clôture principale. Les haies doivent avoir alors des dimensions en rapport avec leur âge.

L'arrachage et la replantation, ainsi que la dépose et la repose des clôtures pour causes étrangères à l'entrepreneur, sont faites par lui, sur les indications des ingénieurs.

ART. 27. — *Réparations des dégâts causés aux clôtures.* — L'entre-

preneur doit faire toutes les réparations aussitôt qne des dégradations se sont manifestées dans les clôtures vives et sèches, que ces dégradations soient dues à la malveillance, à l'intempérie des saisons, à l'action des eaux et des vents, enfin aux éboulements des talus. Il demeure responsable envers la Compagnie de tous les dommages occasionnés par l'absence ou le mauvais état des clôtures.

Si l'entrepreneur ne fait pas réparer dans les quarante-huit heures une brèche qui aura été constatée dans les clôtures, la Compagnie peut, sans autre formalité, la faire réparer, aux frais, risques et périls de l'entrepreneur.

Art. 28.— *Réception définitive.* — Époque.— Dimensions des clôtures vives. — L'entrepreneur continue à ses frais l'entretien de toutes les parties de haies qui, à l'expiration du délai de garantie, ne présentent pas les qualités exigées et celui des clôtures sèches correspondantes. Il n'en est dispensé qu'après que la mise en état des parties dont il s'agit, a été constatée par un procès-verbal de réception.

La réception définitive est faite par portions d'une longueur déterminée.

Art. 29. — *Personnel pour l'entretien et la garde.* — L'entrepreneur est tenu d'avoir en permanence, des ouvriers — chefs ou gardes-haies, chargés de tous les travaux d'entretien des clôtures vives et sèches, sur une étendue déterminée. Aux époques convenables, l'entrepreneur leur adjoint tous les ouvriers nécessaires pour achever les travaux dans les délais prescrits.

Tous ces ouvriers sont au compte de l'entrepreneur et conduits par lui, sous la direction des ingénieurs de la Compagnie. Ils sont agréés par ces ingénieurs qui ont le droit d'exiger leur changement ou renvoi pour cause d'inexactitude, d'insubordination, d'inconduite ou défaut de probité. On n'admet pour gardes-haies que des hommes sachant lire et écrire et possédant les connaissances nécessaires pour bien exécuter les travaux d'entretien.

Art. 30. — *Uniforme des gardes-haies.* — Képis ou simplement signes distinctifs.

Art. 31. — *Outils d'entretien* — Liste des outils dont chaque garde-haies doit être pourvu.

Art. 32. — *Permis de circulation.* — Il est remis à l'entrepreneur un permis de circulation de 1re classe, dans toute l'étendue de l'entreprise, et à chacun des gardes un permis de 3e classe pour voyager dans toute l'étendue de leur parcours.

Enfin, les matériaux que l'entrepreneur a besoin d'envoyer sur la ligne pour l'entretien des haies et clôtures sont transportés gratuitement de station en station, les frais de chargement et de déchargement étant seuls à sa charge.

Art. 33. — *Procès-verbaux et délits.* — Les gardes-haies sont assermentés aux frais de l'entrepreneur et chargés de la surveillance de la ligne, concuremment avec les agents de la Compagnie et dans des limites déterminées. Ils ont spécialement à constater les délits se rapportant aux clôtures, ainsi que les envahissements des propriétaires ou fermiers des parcelles riveraines.

Les procès-verbaux dressés par les agents de l'entrepreneur sont adressés directement à l'ingénieur de la section, qui décide s'il y a lieu ou non de poursuivre. Les indemnités qui peuvent être allouées en vertu des poursuites autorisées sont partagées entre l'entrepreneur et les gardes qui ont dressé les procès-verbeaux, les frais de poursuite étant d'ailleurs toujours à la charge de l'entrepreneur.

En cas d'accident sur la ligne, les employés de l'entrepreneur doivent prêter secours et assistance, et se conduire comme s'ils étaient employés à la Compagnie.

Art. 34. — *Mesures à prendre en cas de non exécution du cahier des charges.* — S'il y a lieu de craindre que les travaux d'établissement ou d'entretien des clôtures ne soient pas terminés aux époques fixées par le cahier des charges ou les instructions données au cours de l'exécution, l'entrepreneur est mis en demeure d'avoir, dans un délai de quinze jours, un nombre suffisant d'ouvriers sur la ligne.

A l'expiration de ce délai, la Compagnie est en droit d'établir immédiatement, et sans autre formalité, une régie aux frais de l'entrepreneur en retard.

Art. 35. — *Résiliation du bail d'entretien.* — Dans le cas où la Compagnie aurait à se plaindre, soit de l'insuffisance de l'entretien, soit des moyens employés par l'entrepreneur pour assurer le développement régulier de la végétation des clôtures vives, ou l'entière fermeture du chemin au moyen des clôtures sèches, elle se réserve expressément le droit de résilier le bail d'entretien, sans que l'entrepreneur puisse prétendre à aucune indemnité, et de faire exécuter cet entretien aux frais de l'entrepreneur.

Art. 36. — *Conditions générales.*— L'entrepreneur est soumis, vis-à-vis de la Compagnie, pendant toute la durée de son entreprise, à toutes les clauses, conditions et prescriptions contenues dans les lois, règlements et ordonnances concernant la police des chemins de fer. Il est mis à l'égard de l'État, aux lieu et place de la Compagnie, pour tous délits et contraventions qui pourraient provenir de son fait, ou de celui de ses ouvriers et agents, et pour les accidents et contraventions résultant du mauvais état des clôtures.

Art. 37. — *Jugement des contestations.* — Les contestations qui peu-

vent s'élever au sujet du présent cahier des charges sont portées devant le tribunal de commerce.

Jusqu'à l'entière exécution de ces clauses tous actes de mise en demeure, toutes assignations, tous actes d'appel, toutes significations de jugement ou autres décisions, offres réelles, etc., seront valablement signifiés à....., au domicile que sera tenu d'y élire l'entrepreneur soumissionnaire, et au siège de la Compagnie.

ANNEXE H

PROGRAMME

D'UN

CAHIER DES CHARGES POUR LA FOURNITURE DES TRAVERSES EN BOIS DE CHÊNE OU EN BOIS PRÉPARÉ

ARTICLE PREMIER. — *Objet du cahier des charges.* — Traverses de joint et traverses intermédiaires. Quantité proportionnelle de chaque espèce (s'il y a lieu).

ART. 2. — *Essence des bois à fournir* (154).

ART. 3. — *Formes et dimensions des traverses en bois de chêne.* (155-156).

ART. 4. — *Formes et dimensions des traverses en bois préparé.* (155-156).

ART. 5. — *Courbure des bois et affranchissement des extrémités.* (155-158).

ART. 6. — *Qualité des bois.* — A cet égard le fournisseur doit donner avis à l'ingénieur en chef de la construction, de la provenance des bois à livrer; celui-ci a le droit de prononcer les exclusions qu'il jugera convenables.

ART. 7. — *Qualité et quantité d'antiseptique* [1] *à employer pour la préparation* (205-210).

Le dosage de la dissolution du sulfate est constaté soit par des pesées du sulfate solide et de l'eau pure, soit par des pesées du mélange au moyen d'aréomètres gradués; soit par tout autre moyen que la Compagnie juge convenable. Les instruments nécessaires et les frais que peuvent entraîner les vérifications de ce genre sont à la charge du fournisseur.

Quantité d'antiseptique absorbée par le bois.

ART. 8. — *Essais des bois préparés par le procédé Boucherie* (211).

ART. 9. — *Essais des bois préparés en vase clos* (212).

En outre des essais que nous avons indiqués, la Compagnie se réserve de prescrire, pour chacun des procédés employés, tous les autres moyens d'épreuve qu'elle jugerait convenables.

ART. 10. — *Surveillance de la préparation des bois.* — La Compagnie fait surveiller par un ou plusieurs agents toutes les opérations relatives

1. Nous supposerons, pour fixer les idées que les bois sont préparés au sulfate de cuivre.

à la préparation des bois, afin de s'assurer du bon emploi du procédé appliqué.

Les sommes à payer aux inventeurs pour droits de brevets restent entièrement à la charge du fournisseur qui garantit la Compagnie contre toute réclamation à cet égard.

Toutes les expériences que la Compagnie juge nécessaire de faire pour reconnaître si l'antiseptique est de bonne qualité et si la pénétration des bois est complète sont à la charge du fournisseur.

Art. 11. — *Réception provisoire.* — La réception provisoire des bois est faite sur les lieux de livraison par un ou plusieurs agents de la Compagnie (158). Marque de la Compagnie ; empilage ; consolidation des traverses fendues (159).

Vérification des dimensions des traverses ; cubage.

Art. 12. — *Lieux de livraison et de réception.* — Les bois sont livrés et reçus aux points stipulés par la soumission. Tous les frais de transport de chargement et de déchargement, de classement, d'empilage et, en général tous les frais quelconques de réception, seront à la charge du fournisseur.

On classe séparément les traverses de joint et les traverses intermédiaires, ainsi que les bois de chêne et les bois préparés.

Art. 13. — *Délai de garantie.* — La réception définitive a ordinairement lieu...., après la réception provisoire. Jusqu'à la réception définitive, la Compagnie se réserve le droit de rebuter les traverses ayant des défauts qui auraient échappé à la réception provisoire, ou celles qui se fendraient par suite de la mauvaise qualité des bois.

Les traverses reconnues défectueuses sont rendues sur le lieu de la livraison au fournisseur, qui doit en tenir compte au prix de la fourniture ou les remplacer si la Compagnie le préfère.

Art. 14. — *Epoques des livraisons et retenues exercées sur les fournitures en retard.*

Art. 15. — *Interdiction de céder.*

Art. 16. — *Jugement des contestations.*

Art. 17. — *Enregistrement du cahier des charges.*

Art. 13. — *Responsabilité du fournisseur.* — La surveillance exercée par l'ingénieur de la Compagnie ou par ses agents à l'usine du fournisseur, les vérifications et épreuves, les réceptions partielles des rails fabriqués n'ont, dans aucun cas, pour effet de diminuer la responsabilité du fournisseur qui restera pleine et entière jusqu'à l'expiration du délai de garantie.

Art. 14. — *Lieux de livraison.* — *Transport.*

Art. 15. — *Epoques de livraison.* — *Retenue pour retards.* — *Ajournements des transports.*

Art. 16. — *Des payements.*

Art. 17. — *Interdiction de céder.*

Art. 18. — *Dérogation au cahier des charges.* — Aucune dérogation au cahier des charges n'est admise que si elle est prescrite ou autorisée par un ordre écrit de l'ingénieur en chef de la Compagnie et que le fournisseur doit présenter à toute réquisition.

Art. 19. — *Jugement des contestations.*

Art. 20. — *Enregistrement.*

ANNEXE L

PROGRAMME

D'UN

CAHIER DES CHARGES POUR LA FOURNITURE DE COUSSINETS EN FONTE, COUSSINETS-ÉCLISSES, ÉCLISSES, BOULONS, CHEVILLETTES, CRAMPONS, TIRE-FOND, SELLES, INTERMÉDIAIRES ET DE JOINT, ETC.

Définition de l'entreprise.

ARTICLE PREMIER. — *Objet du cahier des charges.*

Conditions particulières relatives à chaque fourniture (ch. VI, § IV).

ART. 2. — *Formes, dimensions et poids.* — Dessins cotés et modèles remis aux fournisseurs.

ART. 3. — *Conditions de fabrication.* — Qualité du métal. — Vérification et acceptation des modèles et types par les ingénieurs du chemin de fer, avant la mise en train de fabrication. — Marques.

ART. 4. — *Conditions de réception.* — Gabarits de vérification.

ART. 5. — *Epreuves.*

Conditions communes à toutes les fournitures.

ART. 6. — *Modifications en cours d'exécution.* -- Si, en cours d'exécution, la Compagnie juge convenable de modifier la forme ou la dimension d'un type quelconque de pièces commandées par elle, le fournisseur est tenu de se conformer aux nouveaux dessins qui lui sont remis, à la seule charge par la Compagnie de recevoir toutes les pièces recevables fabriquées et de payer au fournisseur la valeur des modifications à faire aux modèles, ou leur renouvellement, s'il était nécessaire, ainsi qu'un supplément de prix pour excès de main-d'œuvre s'il y a lieu (200-201).

ART. 7. — *Poids normaux.* — Le poids normal des pièces rigoureusement conformes aux dessins et aux modèles est constaté à la première livraison des pièces de chaque espèce. — Tolérances. — Au-dessous des tolérances, les pièces sont rejetées; au-dessus, elles peuvent être acceptées, mais l'excédant de poids n'est pas payé au fournisseur (201).

ART. 8. — *Réception provisoire à l'usine.* — Les réceptions dans les usines sont faites par un ou plusieurs agents du chemin du fer, qui peuvent

y rester tout le temps de la fabrication et auxquels il est permis d'exercer de jour et de nuit la surveillance, et de faire les vérifications nécessaires pour constater que les conditions de fabrication sont exactement remplies, et pour reconnaître si les matériaux satisfont à toutes les prescriptions du cahier des charges.

Les observations que les agents peuvent avoir à faire doivent d'ailleurs être adressées au directeur des usines et non aux ouvriers.

Les matériaux doivent être conservés en lieu sec et préservés de l'oxydation.

Tous les frais de réception et d'épreuves sont à la charge du fabricant.

Les procès-verbaux de réception sont dressés, autant que possible, chaque jour, au fur et à mesure de la fabrication, et régularisés à la fin de chaque semaine.

La Compagnie s'engage à envoyer son agent pour la réception, quinze jours après qu'elle en aura été requise par le fabricant (201).

Art. 9. — *Délais de garantie.* — L'entrepreneur remplace les matériaux détériorés dans le transport, avant ou pendant la pose, et pendant les premières années de service sur la voie. La responsabilité du constructeur reste pleine et entière jusqu'à l'expiration du délai de garantie.

Art. 10. — *Réception définitive.* — Elle n'est prononcée qu'après l'expiration du délai de garantie. Elle est reculée au-delà de ce délai de tous les retards apportés par les fournisseurs à remplacer les pièces défectueuses.

Art. 11. — *Lieux de livraison.* — Rangement, comptage, vérification, emballage des matériaux livrés, aux frais, risques et périls de l'entrepreneur.

Art. 12. — *Epoques de livraison.*

Art. 13. — *Retenue pour retards.*

Art. 14. — *Ajournement des transports.* — La Compagnie peut ajourner le transport des matériaux reçus à l'usine, et dans ce cas le fournisseur doit les empiler dans un magasin loué par la Compagnie dans le voisinage de l'usine, ou dans l'usine même. Le fournisseur est responsable des quantités de matériaux déposés dans les chantiers et il doit plus tard les transporter à ses frais, risques et périls, aux lieux de livraison.

Art. 15. — *Propriété des matériaux avant la réception.*

Art. 16. — *Interdiction de céder.*

Art. 17. — *Payements.*

Art. 18. — *Droits de brevet*, à la charge des fournisseurs.

Art. 19. — *Jugement des contestations.*

Art. 20. — *Enregistrement.*

ANNEXE M

PROGRAMME
D'UN
CAHIER DES CHARGES POUR LE BALLASTAGE ET LA POSE DE LA VOIE

§ 1. — Terrassements.

Article premier. — *Nature des terrassements.* — Les terrassements consistent généralement dans les déblais des terrains qui recouvrent les couches de graviers ou de cailloux devant former le ballast, ou dans l'emploi immédiat ou dans le réemploi de ces déblais, suivant les indications qui sont données par les ingénieurs de la Compagnie. Les terrassements peuvent s'étendre aussi à quelques mouvements de terre pour établir les communications avec les carrières de ballast.

Art. 2. — *Règlement du cube des terrassements.* — Avant l'ouverture des travaux de terrassement, il est pris, sur les points où ils doivent être exécutés, un nombre suffisant de profils en long et en travers pour l'évaluation du cube. L'entrepreneur vérifie et accepte les profils, qui sont alors définitivement arrêtés.

Art. 3. — *Métré des terrassements et classification générale des déblais et transports.* (Voir le Cahier des charges des travaux de terrassements, annexe D, chap. V, § 1).

Art. 4. — *Exécution des remblais.* — Les remblais sont exécutés par masses ou par couches horizontales d'une épaisseur déterminée, dressées et pilonnées, à mesure de l'arrivage des terres.

§ II. — Ballastage.

Art. 5. — *Profil du ballast.* — Epaisseur des couches (150).

Art. 6. — *Composition du ballast.* — La provenance du ballast à employer dans les différentes parties de la ligne est indiquée par l'ingénieur (151).

Art. 7. — *Règlement du cube du ballast* (152).

Art. 8. — *Détermination d'un prix moyen.* — Un prix moyen du ballast est déterminé pour chaque carrière, d'après la classification des diverses natures de ballast qu'elle doit fournir.

Art. 9. — *Transport du ballast.* — Formules.

Art. 10. — *Conditions particulières au mode de transport par va-*

gons. — L'emploi des vagons peut avoir lieu dans deux circonstances différentes :

1° Pour le transport du ballast des carrières, sur le chemin de fer ;

2° Pour le transport du ballast sur la ligne même. - Charges et fournitures de l'entrepreneur dans chaque cas.

Art. 11. — *Mode de ballastage* (232).

Art. 12. — *Maintien du profil du ballast.* — Le ballast doit présenter exactement sur toute la ligne le profil extérieur indiqué en l'article 5 : 1° au moment de la réception provisoire ; 1° au moment de la réception définitive. Dans l'intervalle l'entrepreneur doit maintenir constamment le profil normal du ballast.

Art. 13. — *Approvisionnement de ballast.* — Le ballast nécessaire pour le relèvement des voies et pour le maintien du profil est approvisionné aux frais de la Compagnie.

Il est répandu sur la voie par l'entrepreneur suivant les besoins et sans gêner en rien le service de l'exploitation.

§ III. — Pose de la voie.

Art. 14. — *Piquetage pour l'établissement des voies de fer* (231). — L'entrepreneur fournit à ses frais les ouvriers et les piquets nécessaires pour le piquetage. Il est responsable de la conservation des piquets et, par suite, des fausses manœuvres et malfaçons qui résultent de leur dérangement. Il est remis à l'entrepreneur un état indicatif des rayons et développements des courbes, des longueurs des paliers et des alignements droits, des longueurs et inclinaisons des pentes et rampes.

L'entrepreneur complète le piquetage de chaque profil en travers du chemin. Il ne commence les travaux qu'après avoir fait approuver et vérifier le piquetage par les agents de la Compagnie.

Art. 15. — *Composition de la voie.* — Divers éléments entrant dans la composition de la voie. — Ecartement des traverses.

Art. 16. — *Matériaux.* — L'entrepreneur reçoit directement des agents de la Compagnie tous les matériaux nécessaires à la confection de la voie. Il lui est remis au fur et à mesure des besoins, des états indicatifs des matériaux, à prendre dans chaque dépôt et des points sur lesquels il doit les employer.

Art. 17. — *Responsabilité de l'entrepreneur pour les matériaux livrés.* — Les matériaux déjà livrés sur les dépôts et ceux qui arrivent pendant l'exécution des travaux sont livrés à l'entrepreneur, qui les prend immé-

diatement en charge et en donne reçu. Il est responsable de tous ces matériaux, et doit justifier de leur emploi après la pose des voies définitives.

Art. 18. — *Outils.* — L'entrepreneur fournit à ses frais tous les outils et le matériel nécessaires à la pose des voies, tels que : vagons, gabarits, nivelettes, règles, etc., etc., (246-249). Annexe Q. Les outils détériorés seront remplacés à ses frais.

Longueur correspondante à un atelier.

Art. 19. — *Main-d'œuvre comprise dans le prix de pose.* — Le prix de pose comprend le coltinage pour reprise, après déchargement, des traverses, des rails, etc., à une distance moyenne déterminée, et la conservation des matériaux pendant l'exécution des travaux. Les matériaux sont transportés suivant les indications de l'ingénieur. Après les travaux, l'entrepreneur fait transporter les matériaux qui n'ont pas été employés, dans les dépôts qui lui sont indiqués.

Art. 20. — *Pose des voies.* — La pose des voies doit être faite avec le plus grand soin, suivant les règles de l'art, et conformément aux instructions qui seront données par l'ingénieur.

Art. 21. — *Matériaux défectueux à laisser de côté.*

Art. 22. — *Largeur de la voie, de l'entrevoie et des accotements* (146-147-148).

Art. 23. — *Sabotage des traverses* (218 à 220).

Art. 24. — *Hauteur relative des deux rails d'une voie.* — Dans les parties droites en remblai et dans les courbes, les surhaussements sont réglés par les ordres de service (238 à 244).

Art. 25. — *Alignements, courbes et hauteur des voies* (238). — La voie ne doit présenter à l'œil ni jarrets, ni ondulations, soit en plan, soit en profil.

Art. 26. — *Espacement des traverses* (238).

Art. 27. — *Pose et bourrage des traverses* (246-247).

Art. 28. — *Largeur des joints* (237).

Art. 29. — *Raccordement des rails aux joints.* — Les faces latérales et supérieures des rails ne doivent présenter aux joints ni angles, ni saillies. Ce résultat doit être obtenu par le bourrage des traverses et non en frappant sur les rails.

Art. 30. — *Rails courts à intercaler dans les courbes* (238).

Art. 31. — *Pose des attaches* (chap. VI, § IV et chap. VII, § II).

Art. 32. — *Pose de la voie sur les ouvrages d'art* (250-251),

Art. 33. — *Rails de longueur exceptionnelle* (250-251).

Art. 34. — *Entretien de la voie pendant le délai de garantie.* — L'entrepreneur est chargé pendant toute la durée des travaux jusqu'à la réception provisoire et pendant le délai de garantie, de l'entretien de toutes les parties des voies. Cet entretien doit avoir lieu sans gêner en rien le service de l'exploitation, et tous les frais qu'il occasionne sont compris dans les prix portés à la série.

Art. 35. — *Pose des voies provisoires servant au ballastage.*

§ IV. — Conditions générales.

Art. 36. — *Usage des voies jusqu'à la réception provisoire.* — Jusqu'à l'époque de la mise en exploitation des diverses sections de la ligne, les ingénieurs peuvent faire servir la voie à tels transports qu'ils jugeront convenables, y faire circuler des locomotives et obliger l'entrepreneur lui-même à faire de ces voies l'usage le plus étendu possible pour l'exécution de son entreprise, le tout sans que l'entrepreneur puisse réclamer, pourvu qu'il n'en résulte aucune gêne pour l'exécution de ses travaux, ou des dégâts dont il peut être responsable.

Jusqu'à la réception provisoire et toutes les fois qu'il y aura circulation de machine sur la voie provisoire ou définitive, les passages à niveau doivent être gardés.

Les frais de garde, ainsi que l'établissement des barrières provisoires, sont à la charge de l'entrepreneur.

Art. 37. — *Réception provisoire et définitive.* — La réception provisoire a lieu par sections ; elle est opérée de droit par le seul fait de la mise en exploitation de chaque section.

Délais de garantie. — La réception définitive n'a lieu qu'après l'expiration des délais de garantie.

Toutes les conditions générales du Cahier des charges des travaux d'art et de terrassement s'appliquent à celui des travaux de ballastage et de pose de la voie.

ANNEXE N

ÉTUDE
SUR
L'ETABLISSEMENT DES FORMULES DE TRANSPORT

Transport à la brouette.

Soient :

s : le prix de l'heure du rouleur ;

p : le poids de 1 mètre cube des matériaux à transporter ;

D : la distance à parcourir ;

x : le prix du transport de 1 mètre cube de matériaux à cette distance.

L'expérience a démontré qu'un ouvrier peut transporter en une heure P = 80.000 kilogrammes à 1 mètre de distance horizontale, il transportera donc dans le même temps et à la même distance, un nombre de mètres cubes de matériaux égal à $\frac{P}{p}$.

Le prix du mètre cube transporté à la distance D, sera donc : $x = \frac{s\,p\,D}{P}$

Telle est la formule applicable sur un terrain horizontal ou en pente.

Pour les déblais ordinaires, dont le poids moyen du mètre est d'environ 1.600 kilogrammes, on a

$$x = \frac{sD}{50} = \frac{2\,sD}{100}$$

Si $s = 0^{fr}25$ $\quad x = 0^{fr}005\ D$

Sur les rampes dont l'inclinaison ne dépasse pas $0^{m},08$ par mètre, on ajoute à D, *distance moyenne de transport*, c'est-à-dire distance horizontale des centres de gravité des dépôts de matériaux à transporter, douze fois la distance verticale de ces mêmes points. Si nous appelons d cette distance, la formule précédente devient :

$$x = \frac{sp\,(D + 12\,d)}{P}$$

Pour éviter toute perte de temps, on ne fait parcourir au rouleur, à chaque voyage, que la distance correspondante au temps employé par le chargeur pour emplir une brouette. Avec les brouettes ordinaires contenant $0^{m^3},03$, un ouvrier pouvant charger en moyenne 15 mètres cubes, emploiera pour charger une brouette un temps égal à :

$$\frac{10 \times 0,03}{15} = 0^{h},02$$

Un rouleur parcourant environ 30.000 mètres dans une journée de 10 heures, pourra parcourir en $0^h,02$, une distance de 60 mètres. Cette considération a conduit à adopter 30 mètres pour la longueur de chaque relai R, en plan horizontal. Le rouleur parcourt 30 mètres chargés et 30 mètres à vide pendant que le chargeur remplit une brouette. Sur une rampe, la longueur des relais sera :

$$R' = R \frac{D}{D + 12\,d}$$

Transport à la voiture.

Temps perdu pendant le chargement et le déchargement.

Soient :

t, le temps employé par un seul terrassier pour charger un mètre cube de matériaux ;

t', le temps nécessaire au déchargement.

C, le cube du chargement d'une voiture à 1 cheval.

Le temps total employé par l'ouvrier pour charger cette voiture sera Ct.

Lorsque chaque attelage ne conduit qu'une voiture, il y a avantage à ce que le temps de stationnement des voitures au chantier de chargement soit un minimum. Elle sera donc chargée par le plus grand nombre d'hommes possible, sans que toutefois ceux-ci éprouvent de la gêne dans leur manœuvre. Or, des expériences nombreuses ont démontré que, dans ces conditions, les voitures étant chargées par 2 hommes et le cube du chargement des voitures à 1 cheval, 2 chevaux, 3 chevaux étant approximativement C, 2 C, 3 C. Les temps nécessaires pour le chargement et le déchargement sont dans les rapports suivants :

	Chargement	Déchargement
Voiture à 1 cheval	$\frac{Ct}{2}$	Ct'
— 2 chevaux . . .	$\frac{Ct}{2} + \frac{Ct}{4} = \frac{3\,Ct}{4}$	$\frac{7\,Ct'}{5}$
— 3 — . . .	$\frac{3\,Ct}{4} + \frac{Ct}{4} = \frac{4\,Ct}{4}$	$\frac{9\,Ct'}{5}$

PRIX DU TRANSPORT

Soient :

S, S', S'', le prix de l'heure de la voiture, le conducteur compris :

D, la distance moyenne à parcourir.

X, X', X'', le prix du transport de 1 mètre cube de matériaux à la distance D.

La voiture parcourra, pour chaque voyage, 2 D.

Si l'on admet qu'elle peut parcourir $L = 3.200$ mètres par heure, le temps employé pour l'aller et le retour sera de $\frac{2\,D}{L}$

Le prix du transport de 1 mètre cube sera donc :

Pour la voiture à 1 cheval. . . . $X = \frac{S}{C}\left(\frac{Ct}{2} + Ct' + \frac{2D}{L}\right)$,

— 2 chevaux . . . $X' = \frac{S'}{2\,C}\left(\frac{3\,Ct}{4} + \frac{7\,Ct'}{5} + \frac{2D}{L}\right)$,

— 3 — . . . $X'' = \frac{S''}{3\,C}\left(\frac{4\,Ct}{4} + \frac{9\,Ct'}{5} + \frac{2D}{L}\right)$.

Exemple :

En général, un ouvrier peut charger 1 mètre cube de terre dans un temps égal à $0^h,70$, le temps du déchargement Ct' étant $0^h,05$, si l'on suppose :

$S = 0^{fr},70$ $\quad S' = 1^{fr},10$ $\quad S'' = 1^{fr}50$
$C = 0^{m3},500$
$L = 3,200$

on aura :

$$X = 0,280 + 0,000875\ D$$
$$X' = 0,327 + 0,000687\ D$$
$$X'' = 0,395 + 0,000625\ D$$

On tient compte des rampes en ajoutant à la distance moyenne de transport douze fois la hauteur d dont on doit s'élever :

$$D' = D + 12d$$

Pour de faibles distances D, le prix x du transport à la brouette est plus faible que X ; mais le premier croissant plus rapidement que le second, il arrive un moment où, pour une distance D plus grande, on a $x > X$, on devra donc cesser d'employer la brouette et appliquer la voiture à un cheval. Les limites d'emploi des différents modes de transport dont nous venons de parler seront donc données par les valeurs de D tirées des égalités

$$x = X, \qquad X = X', \qquad X' = X''$$

Pour trouver la distance limite pour laquelle on remplacera la brouette par la voiture à 1 cheval, il faut considérer non seulement les transports mais aussi les temps de chargement qui ne sont pas les mêmes. Si le temps du chargement de 1^{m3} est h pour la brouette et H pour la voiture à 1 cheval, la distance limite à laquelle on pourra substituer la seconde à la première sera tirée de la formule

$$sh + x = sH + X$$

Ainsi, d'après les hypothèses que nous avons faites dans les exemples qui précèdent, et supposant $h = 0^h,6$ et $H = 0^h,7$, la distance limite d'application de la brouette sera donnée par l'égalité :

$$(0,25 \times 0,6) + 0,005\,D = (0,25 \times 0,7) + 0,28 + 0,000875\,D$$

d'où $$D = 74 \text{ mètres}$$

En général, on n'emploie pas la brouette au-delà de 3 relais.

La distance limite d'application de la voiture à 1 cheval sera .

$$D = \frac{0,047}{0,000188} = 252 \text{ mètres}$$

La distance limite d'application de la voiture à 2 chevaux sera :

$$D = \frac{0,068}{0,000062} = 1093 \text{ mètres}$$

Au-delà de 1,093 mètres, on emploiera la voiture à 3 chevaux.

Le poids des matériaux à transporter n'entre pas dans les formules précédentes, mais il est implicitement compris dans la valeur de C, qui varie avec la nature des matériaux.

On peut arriver à des formules plus simples que celles que nous avons établies, en tenant compte du temps perdu par le chargement et le déchargement par une augmentation proportionnelle de la distance de transport. Les formules deviendront dans ce cas :

$$X = \frac{S\,(2\,D + \delta)}{C\,L} \qquad X' = \frac{S'\,(2\,D + \delta')}{2\,C\,L} \qquad X'' = \frac{S''\,(2\,D + \delta'')}{3\,C\,L}$$

Le temps du chargement et du déchargement de 1 mètre cube de terre étant, comme nous l'avons supposé plus haut de $(0^h70 + 0,05)$ pour un seul chargeur, on aura :

$$\delta = L\left(\frac{Ct}{2} + Ct'\right) = 3200 \times 0,2 = 640\,;\ \delta' = 952^m\,;\ \delta'' = 1264^m$$

Les valeurs de C et de δ à introduire dans les formules varient suivant l'espèce des matériaux, la force de l'attelage, la nature des chemins. On peut les indiquer dans un tableau de la forme suivante :

MATÉRIAUX	VALEUR DE C			VALEUR DE δ		
	VOITURE A			VOITURE A		
	1 cheval	2 chevaux	3 chevaux	1 cheval	2 chevaux	3 chevaux
	(SUIVANT LA NATURE DES CHEMINS)					
Déblais de toute nature, terre, argile, ciment, sable, pierrailles, poteries, plâtres, etc., etc. . .	$0^{m^3}350$ à $0^{m^3}750$	$0^{m^3}700$ à $1^{m^3}500$	$1^{m^3}050$ à $2^{m^3}250$	600^m à 1200^m	1100^m à 2200^m	1600^m à 3200^m
Chaux et bois	0 ,600 — 1 ,300	1 ,200 — 2 ,600	1 ,800 — 3 ,900	900 à 2000	1700 à 3800	2500 à 5600
Moellons piqués et smillés . .	0 ,300 — 0 ,650	0 ,600 — 1 ,300	0 ,900 — 1 ,950	1000 à 2100	1900 à 3900	2800 à 5700
Pierre de taille.	0 ,280 — 0 ,600	0 ,560 — 1 ,200	0 ,840 — 1 ,800	2000 à 4200	3800 à 8200	5600 à 12200

En général, le prix des matériaux employés pour la construction des ouvrages d'art comprend le transport à pied-d'œuvre. Une seule formule générale s'appliquant aux déblais de toute nature, est établie d'après les considérations précédentes et les conditions spéciales à chaque cas particulier.

Établissement de la formule des terrassements transportés au vagon.

(EXÉCUTION D'UNE TRANCHÉE. — PRIX DU MÈTRE CUBE FOUILLÉ, CHARGÉ ET TRANSPORTÉ A LA DISTANCE MOYENNE D).

Pour l'établissement des voies provisoires, l'entrepreneur fournira par exemple :

— Les traverses ;

— Les chevilles et les coins ;

— Les pièces pour changement de voies et autres accessoires ;

— Les vagons de transport.

L'Administration fournira :

— Les rails ;

— Les coussinets ;

L'entrepreneur transportera du lieu de dépôt, à pied-d'œuvre, toutes les pièces qui lui sont confiées. Il les remettra au dépôt en parfait état après l'exécution des travaux.

La dépense se compose des éléments suivants :

1° Moins-value et intérêt du capital d'établissement des voies provisoires ;

2° Frais de pose et de déplacement des voies provisoires ;

3° Moins-value et intérêt du capital d'achat des vagons ; entretien et graissage ;

4° Ouverture de la tranchée ;

5° Fouille des terres ;

6° Frais de chargement ;

7° Frais de traction ;

8° Frais de déchargement ;

9° Frais d'entretien des voies provisoires.

1° MOINS-VALUE ET INTÉRÊT DU CAPITAL D'ÉTABLISSEMENT DES VOIES PROVISOIRES.

Nous admettrons que l'on fasse usage d'une simple voie avec gares ; il y aura deux voies au chargement et trois au déchargement. La longueur totale

des voies provisoires sera, par exemple, égale à 3 D environ, D étant la distance du centre de gravité du déblai à celui du remblai.

L'entrepreneur remboursera la valeur des rails perdus ou détériorés. Cette perte peut être évaluée à 1 % de la valeur des rails, lesquels pesant ensemble 60 kilogrammes par mètre courant de voie, coûteront 10 fr. 80.

— L'entrepreneur sera dédommagé de cette perte par la somme de.	0fr11
— Les traverses seront écartées de 1 mètre d'axe en axe. L'entrepreneur se les procurera à 1 fr. 50 la pièce, rendue à pied-d'œuvre et il les revendra les deux tiers de cette somme. Déchet par mètre courant.	0 50
— Il faudra deux coussinets par mètre courant. Ils pèseront 18 kilogr. et coûteront 2 fr. 75. En estimant à 4 % la perte des coussinets brisés, écornés, hors de service, les deux coussinets subiront une dépréciation de 0 fr. 11 et le déchet sera par mètre courant de. .	0 11
— Moins value de 2 chevilles pour fixer les coussinets sur les traverses	0 07
— Pose des 2 coussinets sur leur traverse	0 10
— Deux coins pour fixer les rails dans les coussinets	0 15
— Transport à pied-d'œuvre de 2 mètres courants de rails . . .	0 08
— Redressement des rails à raison de 0fr18 par rail de 6 mètres, soit par mètre courant de voie.	0 06
— Pour déclouer les coussinets remettre les rails et coussinets en dépôts pour nettoyage, empilage et faux-frais.	0 15
— Dépense d'établissement des voies provisoires par mètre courant.	1fr33

Pour la longueur 3 D cette dépense sera 4 D.

L'Entrepreneur aura un petit matériel spécial tel que : croisements, aiguilles pour changements de voie, rails accessoires, que nous supposons équivalent à 40 mètres de voie et valoir 15 francs. Ce matériel vaut donc 600 francs. Il subira pendant les travaux une dépréciation de un tiers, soit . . . . . 200 fr.

Le capital produira à 6 % un intérêt de. . . . . 36 fr.

236 fr.

La dépense totale pour établissement et moins-value des voies provisoires sera donc :

$$4\,D + 236 \text{ francs.}$$

Soit M le cube total du chantier à déblayer, cette dépense sera par mètre cube :

$$\frac{4D + 236}{M} \qquad (a)$$

2° FRAIS DE POSE ET DE DÉPLACEMENT DES VOIES.

La longueur de la voie déposée et replacée sera égale à 2 fois 3 D, soit 6 D.

— Pose de 1 mètre courant de voie	0fr50
— Dépôt et enlèvement.	0 25
	0 75
— Faux frais et outils	0 50
— Prix de 1 mètre courant.	1fr00

et pour la longueur totale : 6 D.

Les frais de pose et de déplacement des voies par mètre cube seront donc :

$$\frac{6\,D}{M} \qquad (b)$$

3° MOINS-VALUE ET INTÉRÊT DU CAPITAL D'ACHAT DES VAGONS. ENTRETIEN ET GRAISSAGE.

Le convoi parcourant toute la longueur de la voie provisoire moins 100 mètres environ à chaque extrémité, la distance moyenne du parcours sera :

$$D - 100$$

Soit :

W le nombre des vagons d'un convoi;

$n = 3$ le nombre des voies de déchargement ;

t, le temps de déchargement d'un vagon, y compris le temps d'amener le vagon sur la voie de déchargement, de le vider et de le ramener sur la voie des vagons vides :

$$(t = 0h09)$$

T, le temps du chargement d'un convoi comprennant le temps d'amener et de reporter les vagons vides à l'atelier, de les remplir et de les ramener au point de départ du convoi :

$$(T = 0h3)$$

$$\frac{Wt}{n} = 0{,}03\ W$$

sera le temps employé pour le déchargement d'un convoi ; ce temps devra être égal à celui nécessaire au chargement ; on aura donc .

$$0{,}03\ W = T = 0{,}3$$

d'où :

$$W = 10 \text{ vagons}$$

Le parcours d'un cheval par heure étant de 3.200 mètres et le temps perdu pendant un voyage à la distance (D — 100) correspondant à un parcours de 800 mètres, la durée d'un voyage à la distance (D — 100) sera :

$$\frac{2\,(D - 100) + 800}{3200} = \frac{D + 300}{1600}$$

Le temps θ, écoulé entre deux chargements d'un même convoi se compose :

— Du temps du chargement = 0 h. 3 ;

— Du temps du voyage à la distance $(D - 100) = \frac{D+300}{1600}$;

— Du temps du déchargement = 0 h. 3 ;

on aura donc :

$$\theta = 0^h6 + \frac{D+300}{1600} = \frac{1260 + D}{1600}$$

Le nombre des vagons nécessaires sur le chantier est celui que l'on pourrait décharger dans le temps θ. Ce nombre sera :

$$N = \frac{n\,\theta}{t} = \frac{1260 + D}{3 \times 16}$$

Tel est le nombre de vagons en action sur le chantier et auxquels il faudra appliquer les frais d'entretien et de graissage.

Il faudra réellement pour l'exécution des travaux un nombre de vagons égal à N + 0,2 N pour tenir compte de ceux qui seront en réparation. Ce nombre sera donc :

$$N' = 1{,}2\left(\frac{1260 + D}{3 \times 16}\right)$$

Soit C la capacité d'un vagon mesurée en déblai (elle est en général de $2^{m^3},5$). Le cube total du déblai déchargé sera dans tout l'atelier de déchargement :

$$\frac{nc}{t} = 83^{m^3} \text{ par heure}$$

Si on compte 250 jours ou 2.500 heures par campagne, le cube du déblai exécuté sera de 207.500 mètres.

Un vagon valant moyennement 600 francs, la moins-value d'un vagon sera d'un quart de son prix d'achat, soit 150 francs, au bout d'une campagne. Celles des N' vagons sera par conséquent 150 N', et on aura, pour la moins-value des vagons, au bout d'une campagne, pour chaque mètre cube :

$$\frac{150\ N'}{207.500} = 1{,}2\left(\frac{1260 + D}{66.400}\right) \qquad (1)$$

— Intérêt à 6 % du capital d'achat d'un vagon . . . . . , 36 fr.

— Pour N' vagons . . . . . , . . . 36 N'

Et par mètre cube enlevé pendant la campagne :

$$\frac{36\ N'}{207.500} = \frac{43,2\,(1260 + D)}{9.960.000} \qquad (2)$$

— Graissage et réparation des vagons, par vagon et par heure de travail 0 fr. 05.

— Pour N vagons . . . . . 0 fr. 05 N.

Ces vagons transportent par heure 83 mètres cubes. Les frais de graissage et réparation des vagons par mètre cube seront donc :

$$\frac{0,05\ N}{83} = 125\left(\frac{1260 + D}{9.960.000}\right) \qquad (3)$$

Ajoutant ces trois quantités, on a pour la dépense de moins-value et des intérêts du capital d'achat des vagons, leur graissage et leur entretien :

$$0,000035\ D + 0,044 \qquad (c)$$

4° FOUILLE DES TERRES ET OUVERTURE DE LA TRANCHÉE

La tranchée à exploiter au vagon aura, par exemple, 5 mètres de profondeur moyenne et sera percée pour permettre l'établissement de la première voie. Les terres seront rejetées au dehors au moyen de banquettes de $1^m,65$ de hauteur et 1 mètre de largeur. A la partie inférieure du déblai, l'ouverture aura une largeur de 2 mètres. Il y aura donc à compter, en sus de la fouille, le rejet sur la berge des terres extraites de l'ouverture.

Pour la 1re banquette $6^m \times 1,65 = 9^{m3},90$ à 1 jet de pelle, ou $9^{m3},9 \times 0^h,8 \times 0^{fr}25 =$	$1^{fr}98$
Pour la 2me banquette $4^m \times 1,65 = 6^{m3},6$ à 2 jets de pelle ou $6^{m3},6 \times 2 \times 0^h8 \times 0^{fr}25 =$	2,64
Pour la 3me banquette $2^m \times 1,65 = 3^{m3},3$ à 3 jets de pelle ou $3^{m3},3 \times 0,8 \times 3 \times 0^{fr}25 =$	1,98
A ajouter un jet de pelle horizontal à 3 mètres de distance pour $19^{m3},80$ extraits, $19,80 \times 0,8 \times 0,25 =$.	3,96
Total.	$10^{fr}5$

Si la section de la tranchée de 5 mètres de profondeur est de 90 mètres, en répartissant entre les 90 mètres la somme de 10 fr. 56, on a pour les jets de pelle destinés à établir l'ouverture de la tranchée et par mètre cube de déblai :

$$\frac{10,56}{90} = 0.117 \qquad (d)$$

5° FOUILLE D'UN MÈTRE CUBE DE DÉBLAI

0^h90 de terrassier à $0^{fr}25 = 0^{fr}225$ *(e)*

6° FRAIS DE CHARGEMENT

Il y a au chargement :

Un surveillant payé par heure	$0^{fr}40$
2 forts chevaux à $0^{fr}50$ l'heure	1 00
2 conducteurs à $0^{fr}25$ l'heure.	0 50
	$1^{fr}90$

On enlève par heure 13 mètres cubes, ce qui fait par mètre cube une dépense de.	$0^{fr}023$
Un terrassier charge $1^{m3}3$ par heure, il est payé $0^{fr}25$ ce qui fait par mètre cube.	0 192
Faux frais 1/20	0 011
	$0^{fr}226$

Frais de chargement par mètre cube 0 fr. 226. *(f)*

7° FRAIS DE TRACTION.

On suppose pour chaque groupe de deux vagons ;

Un fort cheval payé	$0^{fr}50$
Son conducteur	0 25
Ensemble.	$0^{fr}75$

Pour aller à la distance (D-100), et en revenir, il faudra, comme nous l'avons vu, un temps égal à $\frac{D + 300}{1.600}$, en y comprenant le temps perdu pour atteler et dételer.

Le prix de ce temps sera donc :

$$\frac{0,75\,(D + 300)}{1600}$$

Et comme les deux vagons chargent ensemble 5 mètres cubes, le prix du transport sera par mètre cube ;

$$\frac{0,75\ (D + 300)}{5 \times 1600} = 0,0000938\ D + 0,030 \qquad (g)$$

8° FRAIS DE DÉCHARGEMENT

Il y aura au déchargement :

Un surveillant payé par heure.	0fr40
Trois forts chevaux payés chacun 0fr50.	1 50
Trois conducteurs à 0fr25.	0 75
Trois régaleurs à 0fr25.	0 75
Un aiguilleur à 0fr20	0 20
Dépense pour 83m³.	3fr60

On aura donc ;

Frais de déchargement pour 1 mètre cube $\frac{3,60}{83}$ . .	0fr044
Faux frais 1/20	0 002
	0fr046

Frais de déchargement par mètre cube 0fr046 (*h*)

9° FRAIS D'ENTRETIEN DES VOIES

Le prix d'entretien de la voie est par jour et par mètre courant de 0 fr. 01, ou par heure 0 fr. 001.

Le prix d'entretien d'une longueur de voie égale à 3 D sera par heure et par mètre cube de déblai transporté :

$\frac{0,003\ D}{83} =$	0,0000361 D
Faux frais 1/20	0,0000019 D
	0,0000380 D

Frais d'entretien de la voie par mètre cube 0fr0000380 D (*k*)

Réunissant les neuf éléments que nous avons déterminés, on aura pour le prix P du mètre cube de déblai fouillé, chargé, transporté en vagon à la distance D, déchargé et régalé, l'expression suivante :

$$
\begin{aligned}
P = & \frac{4\ D + 236}{M} && (a)\\
& + \frac{6\ D}{M} && (b)\\
& + 0,0000350\ D + 0,044 && (c)\\
& + \qquad\qquad 0,117 && (d)\\
& + \qquad\qquad 0,225 && (e)\\
& + \qquad\qquad 0,226 && (f)\\
& + 0,0000938\ D + 0,030 && (g)\\
& + \qquad\qquad 0,046 && (h)\\
& + 0,0000380\ D && (k)\\
\hline
P = & \frac{10\ D + 236}{M} + 0,0001638\ D + 0,688
\end{aligned}
$$

Ajoutant 1/10 de bénéfice pour l'entrepreneur, le prix du mètre cube sera enfin :

$$P = \frac{11\ D + 260}{M} + 0{,}000184\ D + 0{,}75$$

Si l'on veut savoir pour quel cube minimum il y aura avantage à substituer le vagon à la voiture, pour une distance moyenne D, il faudra chercher l'expression du prix du mètre cube de déblai transporté à la voiture et l'égaler à celle du prix du mètre cube de déblai transporté au vagon. De cette égalité, on pourra tirer M.

Transport du ballast sur la voie de fer avec des chevaux

FRAIS DE TRACTION

Un cheval, pour aller à la distance D et revenir, met un temps égal à $\frac{2\ D}{3\ 200}$

Pendant le temps employé à atteler, dételer, décharger, il parcourra 1.200 mètres, ce qui équivaut à un temps perdu égal à $\frac{1.200}{3.200}$. Le temps nécessaire pour un voyage sera donc :

$$\frac{D + 600}{1600}$$

Le prix du cheval et du conducteur étant 0 fr. 75, et chaque cheval conduisant 2 mètres cubes, le prix du voyage sera par mètre cube :

$$\frac{0{,}75}{2} \times \frac{D + 600}{1600} = \ldots\ldots\ 0{,}0002344\ D + 0^{fr}14$$

DÉPENSE DES VAGONS

Un vagon de 3 mètres cubes, valant 500 francs, et ayant déjà servi anx terrassements, éprouvera une moins-value de 1/5 de son prix d'achat au bout d'une campagne de huit mois, soit une perte de 120 francs, plus 24 francs représentant les intérêts à 6 pour 100 du prix d'achat pendant huit mois, ensemble 144 francs.

Supposons qu'il y ait 190 jours de travail pendant les huit mois, soit 1.900 heures. La dépense par heure sera donc $\frac{144}{1.900} = 0$ fr. 76, et pour le temps de chaque voyage et par mètre cube :

$$\frac{0{,}076}{3} \times \frac{D \times 600}{1.600} = \ldots\ldots\ 0{,}0000158\,D \times 0{,}01$$

Dépense correspondante au stationnement du vagon pendant le chargement et la mise en place sur la voie de chargement :

$\frac{0,076}{3} \times 1^h4 =$		0,04
Graissage et réparation par mètre courant et par vagon 0fr000024.		
Pour chaque voyage cette dépense sera 0,000048 D et pour chaque mètre cube transporté, $\frac{0,000048\ D}{3} =$ . . .	0,0000160 D	
Mise en place des vagons à l'atelier de déchargement et par mètre cube.		0,01
Dépense pour un aiguilleur au chargement et au déchargement du ballast.		0,02
Prix du transport de 1 mètre cube . . . . P =	0fr0002662 D +	0fr22

Transport du ballast avec machine locomotive

FRAIS DE TRACTION — DÉPENSE DE LA MACHINE

La machine remorquera 10 vagons contenant chacun 3 mètres cubes, soit 30 mètres cubes par train. La vitesse moyenne de la machine tant à charge qu'à vide, étant de 15 kilomètres par heure, elle emploiera, pour aller à la distance D et en revenir, un temps égal à ; $\frac{D}{7500}$.

La vitesse de 15 kilomètres comprend le temps employé à prendre les vagons chargés et à décharger un convoi.

L'entrepreneur fournira la machine locomotive évaluée, par exemple, à 15.000 francs. Elle subira pendant les travaux une dépréciation de 1/5, soit pour une campagne de huit mois. 3.000

Intérêt à 6 0/0 du capital d'achat pendant 1 an. 900

fr. 3.90

Soit par voyage $\frac{3900}{8 \times 24 \times 10} \times \frac{D}{7500} =$	0,00027 D
La machine travaille 8 mois à 24 jours par mois. Les dépenses de traction s'éleveront à 1h50 par kilomètre parcouru, soit pour la distance 2 D	0,00300 D
Total de la dépense par voyage.	0fr00327 D
Et comme chaque convoi emporte 30 mètres cubes, le prix de la traction du mètre cube sera	0fr00010900 D

DÉPENSE DES VAGONS

Moins-value d'un vagon de 600 fr. le 1/3 de son prix d'achat, après avoir servi pendant une

Report . . .	200 fr.	
Intérêt à 6 % du capital d'achat pendant un an.	36	
La dépense pour huit mois sera	236 fr.	
Et pour le temps d'un voyage et par mètre cube		
$\frac{236}{24 \times 10 \times 8} \times \frac{D}{7500} \times \frac{1}{3} =$		0,00000546 D
Le vagon, pendant son chargement, occasionnera une dépense égale à celle du voyage. . . .		0,00000546 D
Graissage et réparations, comme précédemment.		0,00001600 D
Mise en place à l'atelier, aiguillleurs. . . .		$0^{fr}03$
Transport de 1 mètre cube.		$X = 0^{fr}00013592\,D + 0^{fr}03$

Si l'entrepreneur n'a pas de machine, il en louera à la Compagnie.

Supposons que le prix de la location d'une machine soit de 40 francs par jour de travail et 20 francs par jour de repos ou de réparations, la dépense pendant un mois sera :

$$(40 \times 24) + (20 \times 6) = 1080 \text{ fr.}$$

$$\text{Soit par voyage } \frac{1080}{24 \times 10} \times \frac{D}{7500} = 0{,}0006\ D$$

Tous les antres frais étant les mêmes que dans le cas précédent, la formule devient $X = 0.00014692\ D + 0.03$.

TRANSPORT DU BALLAST SUR VOIE AUXILIAIRE

Pour calculer le prix de transport du ballast sur voie de fer auxiliaire, mise en communication avec la voie du chemin de fer, on appliquera les mêmes considérations que pour les terrassements.

— Moins-value et intérêt du capital d'établissement des voies provisoires	$\frac{4\,D + 236}{M}$		(*a*)
— Pose et déplacement	$\frac{6\,D}{M}$		(*b*)
— Moins-value des vagons, entretien, graissage.		$0^{fr}0000350\,D + 0^{fr}044$	(*c*)
— Frais de traction.		$0{,}0000938\,D + 0{,}030$	(*g*)
— Entretien de la voie.		$0{,}0000380\,D$	
— Aiguilleurs		0,020	

$$P = \frac{10\,D + 236}{M} + 0^{fr}0001668\,D + 0^{fr}094$$

La formule précédente servira pour établir le prix de transport des terres au vagon, non compris la fouille, le chargement et le déchargement.

MATÉRIEL NÉCESSAIRE A L'EXÉCUTION D'UNE TRANCHÉE

On peut avoir à se rendre compte des dépenses de matériel nécessaire à l'exécution d'une tranchée d'une importance déterminée, dans un temps donné.

Voie. — On emploiera, par exemple, pour l'établissement des voies provisoires, des rails Vignoles de 6 mètres pesant 15 kilogrammes le mètre courant, et coûtant 180 francs la tonne.

Pour établir 6 mètres de voie il faudra :

12 mètres de rails, $12 \times 15 \times 0{,}18 =$	32fr40
6 traverses en sapin, à 1fr50 la pièce = ...	9,00
12 crampons, pesant 0k200 à 300 francs = ...	0,72
	42fr12

Soit par mètre courant = 7fr02

Un rail dure 2 ans. — Perte par an, amortissement.	16fr20
Les traverses durent 5/4 d'année. — Perte $4/5 \times 9{,}00 =$	7,20
Les crampons d° — $4/5 \times 0{,}72 =$	0,58
	23fr98

Depense annuelle par mètre :

Intérêt de 1er établissement	0fr35
Amortissement	4,00
	4fr35

La distance maximum de transport sera la distance comprise entre l'extrémité de la tranchée et celle du remblai correspondant. Représentons-la par L.

Il y aura, par exemple : trois voies au déchargement, c'est-à-dire une portion de voie de 150 mètres de longueur de chaque côté de la voie principale; deux voies au point de chargement ou goulet, soit 200 mètres de voie parallèle à la voie principale; une voie de croisement de 100 mètres, pour le remisage des vagons vides.

On aura donc, pour les frais d'*établissement de la voie* de la longueur totale :

$$(L + 700)(4{,}35 + p) + pn$$

p représentant les frais de pose et de dépose d'un mètre courant de voie, et n le nombre de mètres déposés et reposés.

Vagons. — Soit N le nombre de mètres cubes à extraire par jour. Un vagon contenant 2m3,50, soit 2 mètres cubes de déblais en place, il faudra remplir, par jour $\frac{N}{2}$ vagons, soit, par heure $\frac{N}{20}$.

Pour remplir un vagon, il faut une demi-heure ; on devra donc avoir $\frac{N}{40}$ vagons en chargement et $\frac{N}{40}$ en déchargement.

A chaque demi-heure, il arrivera un train. Il faut autant de trains que la durée du trajet (aller et retour) contient de demi-heures.

Soit L, la distance totale à parcourir, v, la vitesse en mètres par seconde.

La durée d'un voyage sera :

$$\frac{2\,L}{v}$$

Une demi-heure = 1.800".

Le nombre de trains sera donc :

$$\frac{2\,L}{1800\,v}$$

Chaque train étant de $\frac{N}{40}$ vagons, le nombre total des vagons des trains sera :

$$\frac{N}{40} \times \frac{2\,L}{1800\,v}$$

Si $v = 1$ mètre par seconde, il faudra, en tout, pour la tranchée :

$$\frac{2\,N}{40} + \left(\frac{N}{40} \times \frac{L}{900}\right) = \frac{N}{40}\left(2 + \frac{L}{900}\right)$$

Enfin, en multipliant par 1,2 pour tenir compte de 1/5 des vagons en réparation, on aura pour le nombre des vagons nécessaires à l'exécution de la tranchée :

$$\frac{N}{40}\left(2 + \frac{L}{900}\right) 1{,}2$$

Si le prix d'un vagon est de 600 francs, il éprouvera, pendant les travaux, une dépréciation de moitié ; on aura donc, pour chaque vagon :

Intérêt du capital d'achat	30 fr.
Amortissement	300 fr.
Réparations courantes et entretien	75 fr.
Dépenses annuelles pour un vagon	405 fr.

ANNEXE O
Type de Série de Prix

TERRASSEMENTS ET OUVRAGES D'ART

CHAPITRE PREMIER
BASES DES PRIX (1)

NUMÉROS des articles	OBJET DES PRIX	PRIX d'application
		fr. c.
	1° Journées d'ouvriers, chevaux et voitures (Prix de la journée de 10 heures de travail effectif).	
1	Faible manœuvre, femme, régaleur.	2,00
2	Apprenti peintre, forgeron, etc.	2,50
3	Manœuvre terrassier, piocheur, rouleur, pilonneur, bardeur, chargeur, dragueur	3,00
4	Compagnon maçon, paveur, piqueur de moellons, plâtrier, carrier, mineur, forgeron, charpentier, ajusteur, taluteur, jardinier, aide-chaufournier, etc.	4,50
5	Maître-maçon, paveur, bardeur, plâtrier, carrier, mineur, charpentier, peintre, poseur, etc..	5,00
6	Tailleur de pierre, maître chaufournier.	5,50
7	Épuiseur travaillant continuellement par relais de 2 heures	3,50
8	Charretier	3,00
9	Voiture équipée mais non attelée	0,75
10	Cheval équipé mais non attelé	4,00
11	Voiture attelée d'un cheval (charretier compris) . . .	7,95
12	Voiture attelée de 2 chevaux (charretier compris) . .	11,75
13	Voiture attelée de 3 chevaux (charretier compris) . . .	15,75
	Etc..., etc...	
	2° Formules de transport (N).	
14	Transport à la brouette d'un mètre cube de déblai de toute nature. *Prix du mètre cube.*	0,005 (D + 12 d)

(1) A chaque marché et cahier des charges de travaux importants on annexe une série de prix. Chaque série doit être établie d'après les prix des matériaux et de la main-d'œuvre appliqués dans la localité. Le type de série O ne peut donc être consulté que comme modèle de marche à suivre dans chaque cas particulier.

NUMÉROS des articles	OBJET DES PRIX	PRIX d'application
		fr. c.
15	Transport à la voiture d'un mètre cube de déblai de toute nature. *Prix du mètre cube.*	0,35 + 0,0006 (D + 12 d)
16	Transport au vagon. Le prix du mètre cube sera donné par la formule : $$x = \frac{11\,D + 260}{M} + 0{,}000184\,D + 0{,}75$$ Si pour toutes les tranchées d'une ligne à construire le cube moyen des déblais à transporter est 25.000 mètres cubes, on aura pour le *prix du mètre cube* . . . . Cette formule comprend l'ouverture des tranchées préparatoires, l'approche des terres, le regalage sur les remblais	0,75 + 0,000624 D
17	Jet de pelle horizontal de 2 à 4 mètres de longueur ou bien vertical jusqu'à 1m,60 de hauteur. *Prix du mètre cube*	0,25
	3° Prix de chargement et de déchargement de diverses matières.	
18	Le chargement en brouette et le déchargement équivalent en moyenne à un jet de pelle pour toute espèce de matériaux (17) (1). *Prix du mètre cube.*	0,25
19	Chargement en voiture et déchargement de 1 mètre cube de terre, pierrailles, sables, graviers, pierres à chaux, chaux vive ou éteinte, ciment : 0,10 de journée de manœuvre (3). *Prix du mètre cube.*	0,30
20	Chargement en voiture et déchargement de 1 mètre cube de moellons ou de libages pour massif de maçonneries ou enrochement, plâtre, briques, etc. : 0,15 de journée de manœuvre (3). *Prix du mètre cube*	0,45
21	Chargement en voiture et déchargement de 1 mètre cube de moellons piqués ou smillés : 0,35 de journée de manœuvre (3) *Prix du mètre cube.*	1,05
22	Chargement en voiture et déchargement de 1 mètre cube de pierre de taille : 0,1 de journée de 8 manœuvres et d'un maître bardeur (5). *Prix du mètre cube* . .	2,85
	Etc.. , etc....	

(1) Tous les numéros entre parenthèses de la Série de prix renvoient aux articles correspondants de la même Série.

CHAPITRE II

PRIX DES MATÉRIAUX (RENDUS A PIEDS-D'ŒUVRE)

NUMÉROS des articles	OBJET DES PRIX	DÉTAIL DES FOURNITURES et MAIN-D'ŒUVRE	PRIX élémentaires	PRIX d'application
			fr. c.	fr. c.
23	Gravier lavé ou pierre cassée à l'anneau de 0,06.	*Prix du mètre cube.* . .		6.00
24	Sable non lavé pour maçonneries et chaussées.	*Prix du mètre cube.* . .		7,00
25	Pavés d'échantillon ordinaire (dimensions) .	*Prix du mètre carré* . .		6,00
26	Pavés pour bordures (dimensions).	*Prix du mètre carré* . .		6,50
27	Chaux vive moyennement hydraulique éteinte en poudre.	*Prix du mètre cube* . .		22 00
28	Mortier.	0^{m},55 de chaux éteinte en poudre (27).	12,10	
		0^{m3},90 de sable (24) . .	6,30	
		Bardage des matières, dosage et façon du mortier: 1,8 journée de manœuvre (3).	5,40	
		Prix du mètre cube. . .	23,80	23,80
29	Béton.	0^{m3},60 de mortier (28). .	14,28	
		0,80 de gravier lavé (23) .	4,80	
		Bardage des matériaux, dosage, mélange par deux hommes à la pelle et trois hommes à la griffe: 1/5 de journée de cinq manœuvres (3)	3,00	
		Prix du mètre cube. . .	22,08	22,08
30	Chaux grasse vive	Pour la peinture : *Prix du mètre cube.* . .		30.00

NUMÈROS des articles	OBJET DES PRIX	DÉTAIL DES FOURNITURES et MAIN-D'ŒUVRE	PRIX élémentaires	PRIX d'application
			fr. c.	fr. c.
31	Moellons bruts de choix.	Y compris l'emmétrage. *Prix du mètre cube* . .		4,50
32	Pierre de taille.	Pierre de*** *Prix du mètre cube* . .		90,00
33	Bois de chêne équarri de premier choix.	Achat sur pied, écorçage, équarrissage, déchet, transport et avance de fonds. *Prix du mètre cube* . .		90,00
34	Bois de chêne premier choix débité à vive arrête, pour charpente.	1 mètre cube de chêne (33).	90,00	
		Pour sciage, débit et tout déchet.	20,00	
		Prix du mètre cube . .	110,00	110,00
35	Bois de sapin pour cintres et couchis de voûte de plus de 4 mètres d'ouverture.	*Prix du mètre cube* . .		50.00
36	Blanc***	*Prix du kilogramme.* . .		0.06
37	Huile de lin purifiée.	*Prix du kilogramme.* . .		1 40
38	Terre de Sienne.	(Naturelle ou brûlée) *Prix du kilogramme.* . .		0,80
39	Siccatif au zinc.	*Prix du kilogramme.* . .		1,50
40	Goudron de gazomètre.	*Prix du kilogramme.* . . Etc..., etc...		0,20

CHAPITRE III

PRIX DES OUVRAGES

		1° *Terrassements*		
41	Déblais ordinaires chargés en brouette et transportés à un relai, y compris régalage et pilonnage.	Fouille, charge et déchargement d'un mètre cube comptée à forfait, à raison de trois hommes pour 15 mètres cubes (18) .	0,60	
		A reporter. . .	0,60	

NUMÉROS des articles	OBJET DES PRIX	DÉTAIL DES FOURNITURES et MAIN-D'ŒUVRE	PRIX élémentaires	PRIX d'application
			fr. c.	fr. c.
		Report . . .	0,60	
		Transport à 30 mètres (14).	0,15	
		Regalage : 1/40 de journée de regaleur (1) . . .	0,05	
		Arrosage et pilonnage 1/8 de journée de manœuvre (3)	0,38	
		Total	1,18	
		Faux frais et bénéfices 3/20.	0,18	
		Prix du mètre cube . .	1.36	1,36
42	Déblais ordinaires provenant des fouilles d'un ouvrage d'art, mis en dépôt, puis replacés en remblais au pourtour des maçonneries.	Fouille d'un mètre cube 1/4 de journée de terrassier ordinaire (4). .	0.75	
		Double chargement en brouette et double déchargement (17). . .	0,50	
		Double transport en brouette, à 30 mètres (14)	0,30	
		Reprise au dépôt ; 1/20 de journée de manœuvre ordinaire (3)	0,15	
		Double régalage au dépôt et autour des maçonneries : 1/20 de journée de régaleur (1)	0,10	
		Arrosage et pilonnage. .	0.38	
		Total	2.18	
		Faux frais et bénéfices 3/20	0.33	
		Prix du mètre cube . .	2,51	2,51
43	Ensemencement des talus	Graine pour un are. . .	0,50	
		Main-d'œuvre : 1/2 journée de jardinier (4) . . .	2,25	
		Total	2.75	
		Faux frais et bénéfices 3/20	0.41	
		Prix pour un are . . .	3.16	3.16
		Etc..., etc.		

NUMÉROS des articles	OBJET DES PRIX	DÉTAIL DES FOURNITURES et MAIN-D'ŒUVRE	PRIX élémentaires	PRIX d'application
			fr. c.	fr. c.
		2° *Empierrements et pavages*		
44	Chaussées empierrées en graviers ou pierres cassées à l'anneau de 0,06.	Préparation de la forme de l'empierrement : 0,08 de journée de taluteur (4) .	0,36	
		1^{m3},10 de gravier (23) . .	6,60	
		Emmétrage sur la voie 1/10 de journée de main-d'œuvre (3).	0,30	
		Répandage : deux jets de pelle (17)	0,50	
		Régalage : 1/40 de journée de régaleur (1) . . .	0,05	
		Total	7,81	
		Faux frais et bénéfices 3/20	1,17	
		Prix du mètre cube . .	8,98	8,98
45	Pavage avec pavés ordinaires.	1^{m2},10 de pavés d'échantillons (25)	6,60	
		0^{m3},20 de sable (24) . .	1,40	
		Main-d'œuvre : 0,07 de journée d'un maître paveur (5) aidé par un compagnon (4)	0,67	
		Total	8,67	
		Faux frais et bénéfices 3/20	1,30	
		Prix du mètre cube. . .	9,97	9,97
46	Pavage en pavés de gros échantillon pour bordures.	1^{m2},10 de pavés de gros échantillons (26). . .	7,15	
		0^{m3},20 de sable (24) . .	1,40	
		Main-d'œuvre (comme précédemment)	0,67	
		Total	9,22	
		Faux frais et bénéfices 3/20.	1,38	
		Prix du mètre carré . .	10,60	10,60
		Etc..., etc.		

NUMÉROS des articles	OBJET DES PRIX	DÉTAIL DES FOURNITURES et MAIN-D'ŒUVRE	PRIX élémentaires	PRIX d'application
			fr. c.	fr. c.
		3° *Maçonnerie*		
47	Maçonnerie de mortier lissé pour chape de 0m,03 d'épaisseur.	0m3,036 de mortier avec sable de grès passés à la fine claie, déchet compris (28)	0,86	
		Nettoyage de la surface d'application, bardage, compression, battage, lissage et toute autre main-d'œuvre :		
		1/4 de journée de maçon (4)	1,13	
		1/4 de journée de manœuvre (3).	0,75	
		Total	2,74	
		Faux frais et bénéfices 3/20	0,41	
		Prix du mètre carré . .	3,15	3,15
48	Maçonnerie de moellons bruts pour remplissage ou parements à joints incertains, avec mortier	1m310 de moellons bruts (31)	4,95	
		0m3,40 de mortier de chaux et gros sable de grès (28).	9,52	
		Bardage, arrosage, pose, assujettissement et toute main-d'œuvre :		
		2/3 de journée de maçon (4)	3,00	
		2/3 de journée de manœuvre (3).	2,00	
		Total. . .	19,47	
		Faux frais et bénéfices 3/20	2,93	
		Prix du mètre cube. . .	22,40	22,40
49	Maçonnerie de pierre de taille, avec mortier, non compris la taille des parements vus, des lits et joints, ni le ragrément ; mais y compris le rejointoiement.	1m3,10 de pierre de taille de*** (32)	38,50	
		0m3,10 de mortier (28). .	2,38	
		Pour toute main-d'œuvre : 2/5 de journée de poseur (5)	2,00	
		A reporter.	42,88	

NUMÉROS des articles	OBJET DES PRIX	DÉTAIL DES FOURNITURES et MAIN-D'ŒUVRE	PRIX élémentaires	PRIX d'application
			fr. c.	fr. c.
		Report	42,88	
		7/5 de journée de maçon (4).	6,30	
		1 journée de manœuvre (3)	3,00	
		Total. . . .	52,18	
		Faux frais et bénéfices 3/20	7,82	
		Prix du mètre cube . .	60.00	60.00
		Etc..., etc.		
		4° *Enduits*		
50	Crépissage au mortier de chaux hydraulique et de sable de 0m,02 d'épaisseur réduite, en deux couches, la deuxième lissée à la truelle après la prise complète de la première et son lavage préalable.	0m3,03 de mortier tout déchet compris (28) . .	0,71	
		0.2 de journée de maçon (4)	0.90	
		Outils, échafaudages, faux frais, etc..., 1/5 de la main-d'œuvre. . . .	0.18	
		Total. . . .	1,79	
		Avance de fonds et bénéfices 1/10.	0.18	
		Prix du mètre carré . .	1.97	1.97
		Etc..., etc.		
		5° *Charpenterie*		
51	Charpente permanente en chêne à vive arête toutes les faces entièrement lavées à la scie, indépendamment de tout blanchissage à la varlope, mais y compris la mise en place avec assemblages.	1m3,08 de chêne (34) . .	118,80	
		Bardage, débit, assemblage et toute main-d'œuvre :		
		1 journée de maître charpentier (5)	5,00	
		3 journées de compagnon (4).	13,50	
		1 journée de manœuvre (3)	3.00	
		Total. . . .	140,30	
		Faux frais et bénéfices 3/20	21,05	
		Prix du mètre cube . .	161.35	161.35
52	C[illegible] provisoires. [illegible] est couchis en	0m3,50 de sapin y compris les dépréciations (35) .	35.00	
		A reporter. . .	35,00	

NUMÉROS des articles	OBJET DES PRIX	DÉTAIL DES FOURNITURES et MAIN-D'ŒUVRE	PRIX élementaires	PRIX d'application
			fr. c.	fr. c.
		Report. . . .	35,00	
	sapin pour voûtes ayant plus de 4 mètres d'ouverture, les bois étant repris par l'entrepreneur après le décintrement.	Taille, sciage, assemblage, avant la pose: 1 journée de maître-charpentier (5) et 2 de compagnons (4)	14,00	
		Deux bardages pour l'approche et après le décintrement: 1 journée de manœuvre (3). . . .	3.00	
		Façon, levage, assujettissment: 0,5 de journée de maître charpentier (5) et de 2 manœuvres.	5,50	
		Décintrement 1/5 de journée (5).	2,20	
		Total. . . .	59,70	
		Faux frais et bénéfices 3/20	8,96	
		Prix du mètre cube. . .	68,66	68.66
		Etc..., etc.		
		6° *Métaux*		
53	Barreaux droits en fer et pièces simples analogues.	*Le kilogramme* de ces pièces y compris toutes fournitures, main-d'œuvre, peinture au minium, pose. faux frais, bénéfice, etc.		0,40
54	Boulons, armatures, de toute espèce, étriers, tirants, etc,, pour cintres, fermes, ancres, pièces de scellement et autres analogues.	*Le kilogramme* (comme ci-dessus)		0,50
55	Fer à double T de*** à ***de hauteur pour travées sans ajustage.	*Le kilogramme* (comme ci-dessus).		0,35
56	Fer à double T de*** à ***de hauteur pour travées, avec ajustage.	*Le kilogramme* (comme ci-dessus)		0,45

NUMÉROS des articles	OBJET DES PRIX	DÉTAIL DES FOURNITURES et MAIN-D'ŒUVRE	PRIX élémentaires	PRIX d'application
			fr. c.	fr. c.
57	Tôles assemblées entre elles sur cornières, avec rivets, etc., à surfaces quelconques, assorties de boulons, s'il y a lieu.	*Le kilogramme* (comme ci-dessus)		0,60
58	Poutrelles de pont, entretoises, voussoirs en fonte avec ajustage, sur modèles faits exprès.	*Le kilogramme* (comme ci-dessus.		0.30
		Etc..., etc.		
		7° *Peinture*		
59	Peinture à l'alun.	Pour 100 mètres carrés :		
		1° Couche à la chaux 1/25 de mètre cube de chaux grasse (30) . .	1,20	
		Main-d'œuvre : 2,5 journées de peintre (5). . . .	12,50	
		Faux frais : 1/5 de la main-d'œuvre	2,50	
		2° Couche au blanc de*** et à l'alun.		
		12 kilogrammes de blanc de*** (36)	0,72	
		Broyage : 1 demi-journée d'apprenti (2). . . .	2,70	
		Alun.	0,50	
		Main-d'œuvre : 2,5 journées de peintre (5) . .	12,50	
		Faux-frais : 1/5 de la main-d'œuvre	2.50	
		Total. . . .	35,12	
		Bénéfice et avance de fonds 1/10	3,51	
		Pour 100 mètres carrés .	38.63	
		Prix du mètre carré . .	0,39	0,39
60	Peinture à l'huile d'une teinte unie de terre de	1 kilog. d'huile de lin (37)	1,40	
		A reporter. . .	1,40	

NUMÉROS des articles	OBJET DES PRIX	DÉTAIL DES FOURNITURES et MAIN-D'ŒUVRE	PRIX élémentaires	PRIX d'application
			fr. c.	fr. c.
		Report. . . .	1,40	
	Sienne naturelle ou brûlée, à trois couches, la première couche étant très chargée d'huile et la dernière très couvrante.	0,50 de terre de Sienne (38)	0,40	
		0k,03 de siccatif au zinc (39)	0,04	
		Mélange, approche 1/10 de journée d'apprenti (2) .	0,25	
		Pose : 1/10 de journée de peintre (5)	0,50	
		Faux frais et menues fournitures : 1/5 de la main-d'œuvre	0,15	
		Total. . . .	2,74	
		Bénéfice et avance de fonds 1/10	0,27	
		Pour 2 mètres carrés . .	3,01	
		Prix du mètre carré. . .	1.50	1.50
		Etc..., etc.		
		8° *Goudronnage*		
61	Goudronnage des bois et des fers.	1° *Le mètre carré* de goudronnage à une couche avec goudron de gazomètre, le goudron étant appliqué bouillant sur les bois et sur les fers bien secs et bien décapés à l'avance, y compris faux frais et bénéfice (40) .		0,30
		2° (*idem*) à deux couches .		0,50
		3° (*idem*) à trois couches .		0.65
62	Carbonisation.	Le passage au feu sur flammes de copeaux, bien régulièrement et de manière à amener toutes les surfaces à l'état de fumerons, sans altérer sensiblement la résistance des charpentes, est estimé au même prix,		

NUMÉROS des articles	OBJET DES PRIX	DÉTAIL DES FOURNITURES et MAIN-D'ŒUVRE	PRIX élémentaires	PRIX d'application
			fr. c.	fr. c.
		par mètre superficiel, que le goudronnage à une couche.		0,30
63	Calfatage des parois en charpente.	*Le mètre carré* de calfatage à deux étoupes, avec broyage de la surface entière de la charpente, après l'opération, et y compris tous faux frais et bénéfices, est estimé.		1,50
		Etc..., etc.		

ANNEXE P

TYPE D'ORDRE DE SERVICE

et d'instructions réglant le travail relatif à la réfection de la voie.

ARTICLE PREMIER. — *Section à renouveler et type du rail.* — Les sections de. . . . . sont entrées dans la période de renouvellement. Les voies doivent être successivement renouvelées en rails de. . . . . kilogrammes du nouveau type adopté par la Compagnie avec éclisses....

Les rails ont.... mètres .... de longueur, et on placera en voie courante... traverses par rail, espacées, conformément au dessin.

ART. 2. — *Choix du chantier de dépôt.* — Lorsqu'un renouvellement est décidé sur une partie de voie, le chef de section devra immédiatement et préalablement à tout travail proposer une station située à proximité du travail de renouvellement et offrant un espace assez vaste pour en faire le dépôt des matériaux nécessaires.

ART. 3. — *Garde-chantier. — Attributions.* — Cette station déterminée, on y installera un garde-chantier, chargé de faire la réception des matériaux, et d'en tenir la comptabilité générale, soit pour leur entrée, soit pour leur sortie. Cet agent sera, en outre, chargé de surveiller le sabotage des traverses et de tenir attachement de tous les travaux dont la surveillance lui sera donnée sur le chantier. Il devra, en conséquence, lui être remis pour la comptabilité-matières des registres d'entrée et de sortie modèles numéros.....et ....., et, pour la comptabilité des travaux, des rôles de journées et un carnet d'attachements.

ART. 4. — *Chef de transport. — Attributions.* — On choisira ensuite un bon chef de transport qui sera chargé de faire la distribution des matériaux et le transport du ballast nécessaires à l'établissement des voies renouvelées.

Cet agent dirigera la marche de ses trains, sous sa responsabilité person-

nelle, et devra veiller à l'exécution des mesures prescrites par les règlements généraux, par l'ordre spécial de transport, qui sera établi pour les transports de ce renouvellement et par l'ordre général N°....., réglant l'exécution des travaux neufs et le transport des matériaux.

Ce chef de transport sera, du reste, sous les ordres d'un chef de section, dont il relèvera complètement.

Art. 5 — *Distribution préalable des matériaux sur la partie à renouveler.* — Avant de commencer aucun travail de renouvellement, on devra au préalable, faire sur la partie à renouveler une distribution de matériaux en rails, en traverses sabotées et en éclisses pour une longueur de..... mètres courants, au moins de voie simple.

Le chef de transport veillera à ce que les matériaux soient déchargés avec soin sur les accotements ou dans l'entrevoie, de manière à ne pas gêner la circulation des trains et à ne pas embarrasser la partie du chemin de fer à renouveler, afin d'éviter des fausses manœuvres aux dégarnisseurs et aux renouveleurs.

Art. 6. — *Coupons de raccord pour le passage des trains.* — Les nouveaux rails à poser ont.... de longueur entremêlés indifféremment les uns à la suite des autres. Cet état de choses, et surtout les rails dont les nombres ne sont pas divisibles entre eux, nécessitent, pour ne pas faire de coupes sur place, la préparation d'un nombre suffisant de coupons de rails d'une longueur calculée, de manière à pouvoir fermer de suite les voies, sans perdre de temps. Un tableau indiquant ces différentes longueurs de coupons sera remis au chef de l'équipe des renouveleurs, afin qu'il puisse voir d'un coup d'œil les rails qu'il lui sera possible d'enlever et de reposer pour opérer le raccordement de la voie neuve avec la voie ancienne et assurer le passage des trains.

Art. 7. — *Personnel d'exécution.* — Le personnel destiné à opérer le renouvellement sera composé de trois équipes.

La première, conduite par un chef et un sous-chef d'équipe dégarnira la voie existante, la démolira et la rétablira en matériaux neufs. Cette équipe sera composée de trente à quarante hommes au plus.

La deuxième, commandée par un chef d'équipe seulement, opérera le relevage de la voie suivant les points de hauteur déterminée par les soins des chefs de section, fera le bourrage des traverses convenablement ainsi que le regarnissage de la voie. Cette équipe ne sera composée que de quinze hommes au plus, et ne devra opérer que deux ou trois jours après le premier bourrage, afin de le compléter, s'il y a lieu.

La troisième, dirigée également par un chef d'équipe, sera chargée d'opé-

rer avec soin l'entretien ordinaire ; elle suivra la deuxième, en se tenant éloignée d'elle à 2 ou 3 kilomètres, et elle sera composée de six hommes au plus. Toutes les parties de voie abandonnée journellement par cette dernière équipe seront au fur et à mesure, livrées aux équipes d'entretien.

Art. 8. — *Chef et sous-chef de la première brigade.* — Le chef de la première équipe devra être un homme sûr et exercé aux travaux de pose ; il est l'agent responsable de tous les travaux à exécuter sur les voies. Aussi, on lui adjoint, pour le seconder, un sous-chef, qui sera complètement sous ses ordres, et ne devra agir que d'après les avis ou instructions du chef d'équipe.

Les chefs de section chez qui devront s'exécuter les travaux de renouvellement, seront tenus de faire des propositions pour le choix de ces agents, et de ne pas perdre de vue qu'ils devront non-seulement être des poseurs exercés, mais encore être en état de tenir régulièrement des attachements et de lire les ordres de service et marches de trains.

Art. 9. — *Exécution des travaux et précautions à prendre.* — Aussitôt la distribution des matériaux achevée, les renouveleurs se mettront à l'œuvre et commenceront par le dégarnissage de la voie. Les ouvriers occupés à ce travail ne devront dégarnir que sur la longueur qu'il sera possible de renouveler dans la journée et le chef d'équipe devra veiller avec soin à ce que, dans cette première période de leur travail, ils ne dégarnissent pas plus bas que le niveau du dessous des traverses. Le complément du dégarnissage sera fait au moment du renouvellement, et seulement sur la longueur de voie qui pourra être démontée et renouvelée avant le passage d'un train.

Cette deuxième période du dégarnissage achevée, les bardeurs se mettront à l'œuvre immédiatement pour enlever les vieux matériaux et les remplacer par les neufs, aussitôt après commencera le travail des poseurs, des bourreurs et des régarnisseurs.

On ne devra jamais dégarnir et démonter que la longueur de voie qu'il sera possible de renouveler et bourrer entre le passage de deux trains. C'est un point important du travail de renouvellement et qui doit être observé dans toute sa rigueur, afin de ne pas occasionner de retards dans la marche des trains et éviter même toute chance d'accident.

Des feuilles de marche des trains réguliers et supplémentaires seront remises aux chefs d'équipe afin qu'ils puissent régler leur travail de renouvellement, d'après les heures de passage des trains sur les points où ils opèrent.

Les chefs d'équipe devront toujours régler leurs travaux de renouvelle-

ment, de façon à être prêts à laisser passer les trains quinze minutes au moins avant les heures réglementaires.

ART. 10. — *Signaux des trains supplémentaires.* — Les trains supplémentaires de marchandises seront rigoureusement annoncés par un drapeau rouge et par le numéro du train fixé sur le drapeau, afin d'en prévenir les renouveleurs.

Lorsqu'un drapeau rouge sera placé seul, sans numéro, à l'arrière d'un train, il annoncera un train spécial; dans ce cas, comme les heures de passage du train ne peuvent être connues, le travail des renouveleurs devra être complètement suspendu jusqu'après son passage, et les chefs d'équipe chercheront à utiliser leurs hommes à des travaux qui ne pourront ni arrêter sa marche, ni la retarder.

Les chefs et sous-chefs d'équipe devront donc examiner avec le plus grand soin l'arrière de tous les trains, afin de s'assurer si aucun train spécial ou supplémentaire n'est annoncé.

ART. 11. — *Signaux pour la sécurité de la voie.* — L'ordre spécial numéro. . . . . pour les signaux destinés à assurer la marche des trains sera remis aux chefs d'équipe, afin qu'ils en observent rigoureusement les prescriptions pendant l'exécution des travaux de renouvellement.

Toutefois, les prescriptions suivantes devront être particulièrement observées par la première équipe.

Avant de couper la voie pour procéder à son démontage, le chef d'équipe la fera couvrir de la façon suivante :

Il plantera, sur le point où doit commencer le démontage, un drapeau rouge développé ; il détachera de son équipe un homme muni d'un drapeau rouge qui ira se placer en vue du drapeau du chantier et à 1.000 mètres par exemple de ce drapeau. Si le drapeau du chantier n'était pas visible à cette distance, il placerait dans l'intervalle un second homme muni également d'un drapeau rouge, pour établir la communication entre le signal du chantier et le signal placé à 1.000 mètres. Ces drapeaux rouges seront tenus développés tout le temps que le signal d'arrêt sera maintenu au chantier.

Le chef d'équipe ne devra couper la voie que dès qu'il sera certain que le drapeau rouge placé à 1.000 mètres aura été développé, et il devra ne pas perdre de vue que la voie devra être libre pour la circulation quinze minutes avant le passage du premier train attendu.

Aussitôt que la voie aura été raccordée et mise en état de livrer passage au train, il enlèvera son drapeau rouge. Le drapeau placé à 1.000 mètres et le drapeau intermédiaire, s'il a été nécessaire, devront disparaître en même temps.

Des signaux de ralentissement seront placés nuit et jour sur le point où se fera le renouvellement et aux distances réglementaires ; on devra, en outre, y placer un veilleur spécial de nuit.

Art. 12. — *Utilité d'une machine à percer à bras dans le chantier.* — Les rails de . . . destinés au renouvellement, sont percés en dehors de la section par une machine établie à cet effet ; mais il arrive quelquefois que l'on est obligé de repercer ces rails : dans ce cas, on devra avoir dans le chantier une machine spéciale à percer à bras.

Art. 13. — *Matériaux provenant du renouvellement ; triage et rangement dans le chantier.* — Les matériaux extraits des voies et provenant du renouvellement, seront expédiés dans d'autres sections ou déposés dans un lieu de dépôt spécial ; dans ce dernier cas, le chef de chantier devra les faire ranger avec soin en des lots parfaitement séparés, comprenant ceux qui pourront être réemployés et ceux qui doivent être vendus comme vieilles matières.

Ces matériaux, quelque soit leur état, devront toujours produire et représenter un développement égal à celui des matériaux neufs employés au renouvellement.

Art. 14. — *Comptabilité des matériaux et des travaux.* — Le chef de section devra mettre particulièrement toute son attention sur l'ordre qu'il convient d'apporter dans l'exécution de ces travaux. La comptabilité des matériaux comme celle des travaux doit être tenue avec le plus grand soin.

Le garde-chantier devra tenir deux registres d'entrée et de sortie, modèles..... et ....., l'un pour les matériaux neufs, et l'autre pour les matériaux vieux. Il fournira chaque jour au chef de section sur la feuille n°..... et tous les mois sur la feuille.....n°....., la situation de son chantier.

Le chef poseur devra également fournir au chef de section chaque jour une feuille.....n°..... indiquant les matériaux entrés dans la voie et ceux qui en sont sortis dans la journée.

Enfin, le chef de transport fournira au chef de section, pour chaque journée de transport, une feuille.....n°....., indiquant les matériaux neufs ou vieux transportés par lui, et les lieux de dépôt.

En rapprochant ces feuilles, les vérifiant et les dépouillant chaque jour, le chef de section connaîtra constamment la situation de son travail et évitera les pertes de matériaux.

Les attachements des travaux seront également tenus et fournis par les trois agents principaux attachés à l'opération du renouvellement, savoir : le

garde-chantier, le chef de transport et le chef d'équipe. Ces agents doivent être munis de rôles de journées et de carnet d'attachements, qu'ils tiendront suivant les règles adoptées pour la comptabilité. Aucun état de dépenses ne sera accepté, s'il ne porte le numéro du carnet d'attachements, et s'il n'est appuyé d'un rôle de journées, lorsque les travaux seront exécutés en régie.

Chaque mois, le chef de section transmettra à l'ingénieur sur la feuille N° la situation des matériaux employés ou à employer au renouvellement de la voie et sur des états spéciaux, N^os^ ..... et ..... les quantités de matériaux neufs employés dans les voies et les quantités de vieux matériaux retirés des voies, mis en dépôt ou expédiés dans d'autres sections.

Ces tableaux N^os^ ....., devront servir à régler le compte général du renouvellement.

Art. 15. — *Travaux à exécuter à la tâche.* — Quelques travaux pourront être exécutés à la tâche notamment le sabotage, les chargements et les déchargements, etc., et les chefs de section devront, autant que possible chercher des tâcherons, suivant les prix de la série de pose. Il est bien reconnu, du reste, que la plus grande partie des travaux nécessités par le renouvellement ne peuvent être exécutés qu'à la journée.

Art. 16. — *Devoir de l'Inspecteur.* — L'inspecteur chargé des sections en renouvellement devra veiller tout spécialement à l'exécution du présent ordre.

Il vérifiera fréquemment son application dans les sections, et fera mention de ces vérifications sur son rapport hebdomadaire. Il dressera à la fin du travail, les récapitulations sous les formes ordinaires.

État des outils nécessaires à deux ateliers de réfection.

32 Piquets ferrés de hauteur.
8 Piquets de nivelettes.
2 Jeux de nivelettes.
2 Règles de nivellement
3 Règles divisées.
11 Règles d'écartement de la voie, ferrées.
6 Niveau à plomb.
2 Équerres de poseurs.
18 Pics-pioches.
8 Porte-rail.
72 Cales de joint.
32 Goujons pour éclisser.
16 Clés à fourche.
12 Anspects ordinaires.
4 Anspects à crochets.
10 Grandes pinces à dresser.
4 Petites pinces à dresser.
6 Pinces pied-de-biche.
8 Bourroirs.
18 Marteaux de dresseur.
60 Pioches à bourrer.
2 Marteaux-Massues.

ANNEXE Q

Outils de la voie

Prix et poids des principaux outils employés à la pose et à l'entretien des rails Vignoles.

DÉSIGNATION	POIDS	PRIX de l'outil	PRIX du manche	PRIX total
		fr. c.	fr. c.	fr. c.
Anspect (poids du fer)	22	»	»	21 00
Arrache-crampon	»	»	»	8 50
Batte en fer, manche en frêne	»	»	»	6 00
Bisaque	4.200	»	»	10 00
Brouette	»	»	»	9 00
Burin	0 600	»	»	1 50
Chasse-crampon	3.800	4 55	0 70	5 25
Clé anglaise	2.000	»	»	7 65
Clé à fourche	5.000	»	»	6 50
Clé à douille	4.400	»	»	6 00
Cognée	3.240	»	»	7 00
Corne d'appel	»	»	»	2 20
Curettes d'aiguilles	»	0 75	0 30	1 05
Drapeau	»	»	»	5 00
Ebauchoir n° 1	0.170	»	»	1 75
Ebauchoir n° 2	0.830	»	»	1 50
Equerre en bois, ferrée	»	»	»	8 00
Gabarit de clouage	»	»	»	35 00
Gabarit de sabotage	»	»	»	75 00
Herminette à marteau	1.840	»	»	7 25
Herminette à deux tranchants	»	»	»	5 10
Jauge ou gabarit d'écartement	»	»	»	25 00
Marteau à fourche	3.500	»	»	4 40
Niveau à bulle d'air	»	»	»	2 25
Niveau en bois à fil-à-plomb	»	»	»	8 75
Nivelettes à coulisses (un jeu)	»	»	»	8 00
Pelle à neige	»	»	»	1 05
Pelle en bois	»	»	»	1 50
Pelle en fer	1.500	1 25	0 50	1 75
Pince-masse	17.000	»	»	11 90
Pince pied-de-biche	14.000	»	»	9 50
Pioche en bois	»	4 80	0 40	5 20
Pioche en fer	4.000	4 85	0 40	5 25
Pioche de terrassier	3 à 5	»	»	2,25 à 3,75

DÉSIGNATION	POIDS	PRIX de l'outil	PRIX du manche	PRIX total
	k	fr. c.	fr. c.	fr. c.
Racloire	»	»	»	2 45
Rateau	»	2 05	0 15	2 20
Règle 6 mètres ; 0m,35 ; 0m,100	»	»	»	5 00
Rivoire	0.800	»	»	2 25
Scie de 1m,050	»	»	»	20 75
Tarière à gouge	0 310	»	»	1 20
Tarière à vis	0.225	»	»	1 65
Tenaille	»	»	»	1 60
Tranche	»	»	»	2 50
Vagonnet cubant 1 mètre, bouts tombants	»	»	»	350 00
Machines outils. instruments.				
Clé parisienne de 30 centimètres	»	»	»	13 00
Clé de Nord	»	»	»	7 70
Marteau à main nos 1, 2, 3 de 1 franc à	»	»	»	1 50
Burin de 0.500	»	»	»	1 20
Ciseau à froid	0 500	»	»	1 20
Piquet de drapeau à main	»	»	»	5 30
Lanterne à trois feux	»	»	»	12 00
Lanterne carrée à main	»	»	»	5 00
Machine à percer à agrafe et colonne	30.000	»	»	59 00
Presse à redresser les rails, de 20 à 22 kilogr.	»	»	»	90 à 100
Presse à redresser les rails de 30 kilogrammes	»	»	»	130 à 160
Presse à redresser les rails de plus de 30 kilogrammes	»	»	»	600 à 700
Décamètre en ruban de fil	»	»	»	1 50
Chaîne de 10 mètres, poignées en cuivre	»	»	»	7 00
Mesure en ruban de 50 mètres	»	»	»	54 00
Mire à voyant	»	»	»	30 00
Mire parlante	»	»	»	40 à 60
Niveau d'eau	»	»	»	35 00
Pantomètre	»	»	»	42 00
Niveau sphérique	»	»	»	15 00
Niveau Lenoir à cuvette, niveau d'Egault	»	»	»	140 à 200
Boussoles d'arpenteur	»	»	»	40 à 80
Planchette 1/2 grande aigle, montée sur genou	»	»	»	20 00
Tachéomètre, diamètre variant de 0m,10 à 0m,32	»	»	»	320 à 1000
Fil-à-plomb	»	»	»	4 à 6
Baromètre de poche	»	»	»	30 à 40

ANNEXE R

Etat des encombrements de neiges

(Pièce à produire périodiquement par chaque Chef de section, lorsque la voie est occupée par les neiges)

DÉSIGNATION des localités	Position kilométrique	INDICATION DES ENCOMBREMENTS					PROFIL du chemin		ÉPOQUE et durée des encombrements	ORIENTATION		JOURNÉES d'ouvriers employés à détruire l'obstacle	DÉPENSES par parties	OBSERVATIONS
		Longueur	Largeur (a)	Épaisseur sur la voie		Cubes	Déblai ou remblai	Hauteur du profil.		du chemin	du vent			
				paire	impaire									
	k.	m.	m.	m.	m.	m³		m.					fr. c.	
														(a). — Largeur moyenne au milieu de la hauteur de l'encombrement.
Tranchée de*	250,3 à 251,1	800	10,00	3,00	2,00	20000	D	5,00	du 24 décembre au 27.	N. S.	N. E. S. O.	218	342,70	Paranceige trop rapproché du bord de la tranchée : il faudrait le reculer de 4 ou 5 mètres.
Remblai de*	262 à 262,3	275	7,50	0,50	0,50	1030	R	6,50	du 25 décembre au 26.	N. O. S. E.	N. E. S. O.	19	35,15	Il y aurait lieu de protéger ce remblai par des plantations sur les talus.
Tranchée de*	280 à 281,5	1.500	8,50	0,75	0,25	5370	D	1,00	du 26 décembre au 28.	E. O.	N. S.	103	182,80	La disposition de cette tranchée permettrait d'en abattre les talus, opération qui empêcherait le retour des encombrements.
Tranchée de*	304,9 à 306	1.075	9,00	0,60	1,00	7740	D	1,75	du 27 décembre au 30.	S. O. N. E.	S. O. S. E.	127	273,00	Cette tranchée traverse une clairière de la forêt de**. Il suffira de faire des plantations pour la protéger.
Plaine de*** Etc.	321,1 à 322	850	8,00	0,75	0,75	5000	R	0,50	du 28 décembre au 30.	SS. O. NNO.	E. O.	78	123,20	Etc.

ANNEXE S

DÉTAILS SUR L'ÉTABLISSEMENT DU prix de revient de la voie (1)

Les renseignements qui suivent sont établis en faisant varier la largeur de la voie, la charge maxima des essieux de locomotives et la vitesse.

Les prix dépendent d'ailleurs de la valeur des différents matériaux composant la voie, valeur essentiellement variable suivant les circonstances, l'activité des commandes, l'entente plus ou moins complète entre les producteurs, etc. etc.

Ainsi au commencement de l'année 1868, le Chemin de fer de l'Ouest, traitait à 170 fr. 80 la tonne de rails prise à l'usine et vendait ses vieux rails en fer sur le pied de 100 fr. 20 la tonne rendue à la même usine.

Les frais de transport entraient dans ces prix pour 7 fr. 20 de l'usine au dépôt de l'Ouest.

A la même époque, les chemins de fer étaient embarrassés de leurs vieux rails. Le Nord demandait 100 francs la tonne pour des livraisons inférieures à 5.000 tonnes ; 97.50 pour des quantités comprises entre 5.000 et 10.000 tonnes; 95 francs pour 10.000 tonnes et plus, car il n'imposait pas la reprise des vieux rails aux contractants de fourniture de rails neufs, afin de laisser à ces derniers toute la responsabilité de leur fabrication.

Ailleurs, certains traités de la même époque, pour achat de rails neufs, imposaient l'obligation de reprendre une quantité de vieux rails correspondant aux deux tiers de la commande et les maîtres de forge ne les acceptaient qu'avec difficulté.

Les éclisses se cotaient alors 199 fr. 50, les tire-fond 368 francs et les boulons 378 francs.

(1) Voir pour les autres détails, les chapitres V, VI et VII.

En Belgique et en Angleterre, la tonne de rails rendue au port se vendait 155, 150 et même 140 francs.

En 1869, hausse subite, correspondant à l'extension des chemins de fer étrangers. Tous les vieux rails sont demandés et les acheteurs n'en trouvent plus de disponibles, nous voyons le même fait se reproduire ultérieurement en raison des achats des Etats-Unis.

Le département des Ardennes traite ses rails à raison de 198 francs, soit avec une augmentation de 20 francs par tonne sur les prix de l'année précédente.

Le Chemin de fer du Midi achète ses rails en fer 190 francs pris à l'usine et ses rails en acier Bessemer 310 francs, droits de brevet compris.

La Compagnie de la Méditerranée a assuré ses fournitures à raison de 315 francs et 340 francs par tonne de rails acier Bessemer, et de 300 francs par tonne de rails en acier Martin, droits de brevet compris.

En Prusse, les prix étaient à la même époque de 358 à 365 francs par tonne de rails en acier Bessemer, et de 456 et 461 fr. 25 par tonne de rails en acier fondu au creuset.

En 1870, les rails Bessemer valent 265 francs en Angleterre, sous vergues ; en 1879 ils atteignent 150 francs et en 1889 ils descendent en Belgique au-dessous de 100 francs à quai à Anvers.

Nous avons divisé les renseignements qui suivent en deux catégories :

A Chemins à voie étroite, inférieure ou égale à $1^m,10$;

B Chemins à voie de $1^m,44$ à $1^m,45$; l'une et l'autre exploitées à l'aide de locomotives.

Pour abréger, nous désignons par *Rayon*, le rayon minimum des courbes de chaque chemin, par *inclinaison*, la déclivité des rampes les plus raides ; par *charge*, la pression exercée sur la voie par chaque essieu moteur ; par *vitesse*, la longueur en kilomètres du chemin parcouru en une heure par les trains les plus rapides.

A. — Voie étroite.

1° *Chemin du Festiniog.* — Longueur, 21 kilomètres ; Largeur de voie, $0^m,610$; Rayon, 40 mètres : Inclinaison, 0,0167 ; Charge, 3.800 kilogrammes ; Vitesse, 16 kilomètres.

Rails de 14 kilogrammes 80 au mètre courant ;

Coussinets intermédiaires pesant 4 kilogr. 535.

Coussinets de joint pesant 5 kilogr. 900.

Ce chemin transporte des voyageurs et des marchandises.

2° *Voie de 75 centimètres.* — Rayon, 100 mètres ; Inclinaison, $0^m,016$; Charge, 4.000 kilogrammes; Vitesse, 20 kilomètres.

Par 10 mètres de voie :

2 rails en acier de 10 mètres pesant 15 kilogrammes le mètre courant soit 300 kilogrammes à 195 francs rendu à pied d'œuvre	$58^{fr},50$
14 traverses en chêne à 4 francs l'une	56 ,00
Éclisses, boulons, tirefonds	4 ,50
Ballast 10 mètres cubes à 4 francs.	40 ,00
Par 10 mètres de voie.	$159^{fr},00$
Soit par mètre courant	$15^{fr},90$

2° *Chemin du Broelthal* (1). — Longueur, 20 kilomètres ; Largeur de voie, $0^m,785$; Rayon, 38 mètres ; Inclinaison, 0,0125 ; Charge, 6.250 kilogrammes ; Vitesse, 15 kilomètres.

2 rails de $6^m,70$ à 13 kilogr. à 221 francs la tonne . .	$37^{fr},90$
4 éclisses de 0^m05, $0^m,08$, $0^m,314$ — $3^k,75$ à 315 francs .	1 ,20
2 plaques de joint de $0^m,120$, $0^m,100$, $0^m,007$; 1 kil. à 315 fr.	0 ,40
8 boulons de $0^m,013$ à $0^k,170$ soit $1^k,120$ à 380 francs, .	0 ,45
38 crampons à $0^k,200$ soit $7^k,60$ à 300 francs	2 ,30
1 traverse de joint, $0^m,15$, $0^m,20$, $1^m,26$ à 2 francs . .	2 ,00
9 traverses intermédiaires $0^m,13$, $0^m,10$, $1^m,26$, à $1^{fr},60$.	14 ,40
Ballast 3 mètres cubes à 3 francs	9 ,00
Pour $6^m,60$ de voie.	$67^{fr},65$
Soit par mètre courant	$10^{fr},25$

La voie du prolongement de ce chemin avec rails de 17 kilogrammes était estimée le mètre courant, 15 fr. 33.

3° *Chemin de Blanzy* (2). — Longueur 10 kilomètres; Largeur de voie, $0^m,800$; Inclinaison, 0,012 ; Charge : 3.000 kilogrammes ; Vitesse, 20 kilomètres ; Poids des rails Vignoles, 16 kilogrammes; Distance des traverses, $0^m,80$.

Prix du mètre courant de voie : 12 francs.

4° *Chemin de Tavaux-Ponsérícourt.* — Longueur, 14 kilomètres; Largeur de voie, 1 mètre ; Rayon, 30 mètres; Inclinaison, $0^m,075$; Charge, 3.750 kilogrammes ; Vitesse 15 kilomètres.

(1) Transporte de 28.000 à 32.000 tonnes de marchandises, produisant une recette de 30.000 à 34.000 francs, soit 1.500 à 1.700 francs de bénéfice par kilomètre de ligne ayant coûté 25.000 francs en nombre rond.

(2) Transporte annuellement de 5 à 600.000 tonnes de houille.

Rails à large base de 13 kilogrammes avec éclisses.

Tire-fond de 15 millimètres de diamètre.

Sept traverses par longueur de six mètres.

Traverses intermédiaires : $0^m,08$, $0^m,16$, $1^m,50$.

Traverses de joint : $0^m,08$, $0^m,20$, $1^m,50$.

Épaisseur de la couche de ballast : $0^m,20$.

Prix du mètre courant de voie, pose comprise : 11 fr. 60.

5° *Chemin de San-Domingos* (1). — Longueur, 16 kilomètres ; Largeur de voie, $1^m,067$; Rayon, 40 mètres ; Inclinaison, 0,053 ; Charge 6.425 kilogrammes ; Vitesse, 14 kilomètres.

Rails de 18 kilogrammes avec éclisses.

Distances des traverses, en alignements droits et de grands rayons de 1 mètre à $0^m,80$; en courbes raides, de $0^m,60$ à $0^m,40$.

Traverses en bois de pin, 2 mètres sur $0^m,25$ et $0^m,12$.

6° *Chemin de Norvège.* — Longueur, 132 kilomètres ; Largeur de voie, $1^m,067$; Rayon, 240 mètres ; Inclinaison. 0,024 ; Charge, 6.525 kilogrammes ; Vitesse, 64 kilomètres.

Rails à base large de 22 kilogrammes ; éclisses de $0^m,279$ de longueur avec quatre boulons de $0^m,019$; Crampons de $0^m,117$ de longueur, Traverses en bois fendu de $0^m,20$ à $0^m,25$ sur $1^m,70$; Espacement, $0^m,90$ dans les alignements droits ou à grands rayons ; $0^m,80$ dans les courbes à rayons moindres que 600 mètres ; Largeur du ballast en couronne, $2^m,60$; Épaisseur, $0^m,60$.

Coût de construction en moyenne 62.000 francs par kilomètre.

7° *Chemin de Mondalazac.* — Longueur, 7 kilomètres ; Largeur de voie, $1^m,100$; Rayon, 60 mètres ; Inclinaison, $0^m,012$; Charge, 4.650 kilogrammes ; Vitesse, 15 kilomètres.

Pour un mètre courant de voie :

Rails à $16^k,50$, coûtant 250 francs.	$8^{fr},25$
Éclisses : $2^k,80$ la paire, à 400 francs	0 ,45
Boulons et écrous $0^k,800$ à 0,360 francs	0 ,29
Crampons de $0^m,10$ de longueur à $0^{fr},10$ pièce . .	0 ,53
Traverses en chêne, espacées de $0^m,75$ à $1^m,50$ . .	2 ,00
Ballast $0^{m3},45$ à 2 francs, plus le transport . . .	1 ,12
Pose de la voie	1 ,10
Transport des matériaux.	0 ,86
Prix de revient de 1 mètre de voie. . .	$14^{fr},60$

(1) Communication de James Mason, Ingénieur, Fermier des Mines de San-Domingos et Constructeur des Chemins de San-Domingos à Pomaron sur la Guadiana.

Ce chemin de fer transporte plus de 50.000 tonnes de minerai à raison de 0 fr. 033 par tonne et par kilomètre.

8° *Chemin d'Anvers à Gand* (1). — Longueur, 50 kilomètres ; Largeur de voie, 1^m,100 ; Rayon, 800 mètres; Inclinaison, 0^m,0035; Charge, 6.000 kilogrammes ; Vitesse, 50 kilomètres ; Rail à base large de 5^m,60 de longueur, pesant 25 kilogrammes au mètre courant ; Éclisses de 0^m,52 de longueur ; Traverses espacées de 0^m,80 au joint et de 1 mètre sur la longueur du rail.

9° *Chemin de fer de la Thessalie.* — Longueur, 200 kilomètres ; Largeur de la voie, 1 mètre ; Rayon, 110 mètres ; Inclinaison, 25 millimètres ; Charge maxima, 10.000 kilogrammes ; Vitesse, 45 kilomètres.

Rails à patin de 6^m,44 de longueur, pesant 21 k. 25 au mètre courant ; Éclisses de 0^m,440 de longueur ; Traverses espacées de 0^m,50 au joint et de 0^m,75 sur le reste du rail ; Largeur du ballast en couronne, 2^m,50 ; Épaisseur, 0^m,40.

10° *Chemins de fer de Porto-Rico.* — Longueur 545 kilomètres ; Largeur de la voie, 1 mètre ; Rayon, 100 mètres pouvant exceptionnellement s'abaisser à 80 mètres ; Inclinaison 20 et 25 millimètres ; Poids des machines, 30 tonnes.

Rails à patin de 10 mètres de longueur pesant 20 kilogrammes le mètre courant ; 1.200 traverses par kilomètre ; Traverses métalliques, système Boyenval et Ponsart pesant 20 kilogrammes l'une.

11° *Chemins de fer de la voie d'un mètre.* — Rayon, 100 mètres ; Inclinaison, 0,015 ; Charge, 6.000 ; Vitesse 20 kilomètres.

Par un kilomètre de voie :

Rail, en acier du poids de 18 kilogrammes le mètre courant 36 tonnes à 200 francs la tonne . . .	7.200	francs.
Boulons d'éclisses, 160 kilogrammes à 0 fr., 50. .	80	»
Éclisses 540 kilogrammes à 0 fr. 300.	162	»
Traverses métalliques 1.250 à 8 francs	10.000	»
Pose de la voie, le kilomètre	1.500	»
Ballastage	5.000	»
Pour un kilomètre de voie	23.942	francs

B. — Voie de 1^m,44 a 1^m,45.

1° *Chemin de fer de Paris-Lyon-Méditerranée.* — Rayon, 500 mètres ; Inclinaison, 0,015 ; Charge, 13.000 kilogrammes ; Vitesse, 80 kilomètres.

(1) Recette brute : 17.000 à 18.000 francs par kilomètre, dont 66 % en produits de grande vitesse et 34 % en marchandises.

Pour 6 mètres de voie :

2 rails en acier de 6 mètres, pesant 40 kilogrammes le mètre courant, soit 480 kil. à 300 fr. la tonne	144fr,00
2 paires d'éclisses, de 4k,5 l'une, soit 18 kil. à 220 fr.	3 ,96
32 crampons de 0k,39 soit 5k,20 à 380 francs . .	3 ,75
8 boulons d'éclisses de 0k65 soit 5k20 à 380 francs.	1 ,98
8 traverses à 4 francs pièce.	40 ,00
Ballast 15 mètres cubes à 3 francs	45 ,00
Pour 6 mètres de voie	238fr,69
Soit par mètre courant	39fr,78

Certaines des voies très chargées de cette Compagnie ont été constituées par des rails en acier de 12 mètres de longueur posés sur 14 traverses (charge 14.800 kilogrammes).

Le prix de revient peut s'évaluer comme suit :

Pour 12 mètres de longueur :

2 rails en acier de 12 mètres pesant 38k800 le mètre courant soit 931k200 à 160 francs la tonne	149fr,00
2 paires d'éclisses cornières pesant 11k7 l'une, soit 46 fr., 80 à 180 francs la tonne	8 ,42
8 boulons d'éclisses de 0m,025 de diamètre avec écrous et rondelles Grover pesant ensemble 6k,320 à 290 fr. la tonne.	1 ,83
28 selles d'appui de 0m,150 sur 0m,210 pesant 84 kilogrammes à 250 francs la tonne	19 ,00
64 tirefonds de 0m,021 de diamètre au collet pesant ensemble 23k68 en acier à 390 francs la tonne	9 ,23
14 traverses en chêne à 4 fr., 80 l'une	67 ,20
Total pour 12 mètres de voie. . . .	254fr,68
Soit par mètre courant	21fr,22

2° *Chemins de fer de l'Est français.* — Rayon, 500 mètres ; Inclinaison, 0m,015 ; Charge, 10.500 kilogrammes ; Vitesse, 72 kilomètres.

Pour six mètres de voie :

2 rails de 6 mètres, pesant 34k,80 le mètre courant, soit 417k,6 à 190 francs la tonne	79fr,35
2 paires d'éclisses plates de 3k89 soit 15k56 à 220 francs .	3 ,42
2 platines de joint, de 2k124, soit 4k248 à 235 francs. . .	1 ,00
8 boulons d'éclisses de 0k433 soit 3k464 à 380 francs . .	1 ,32
32 tire-fond de 0k336, soit 10k752 à 380 francs	4 ,09
7 traverses à 5 francs pièce	35 ,00
Ballast 15 mètres cubes à 3 francs	45 ,00
Pour 6 mètres de voie.	169fr,18
Pour un mètre courant	28fr,20

3° *Divers chemins d'intérêt local.*— Rayon, 200 mètres; Inclinaison, 0,020; Charge, 7.500 kilogrammes ; Vitesse, 25 kilomètres.

Les prix de revient se sont répartis comme suit :

2 rails de 6 mètres, pesant 25 kilog, par mètre à 200 francs	60fr,00
4 éclisses de 10k50 à 250 francs.	2 ,65
8 boulons de 2k30 à 400 francs	0 ,90
18 tire-fond galvanisés de 6k5 à 400 francs.	2 ,60
7 traverses à 4 francs	28 ,00
Ballast, 9 mètres cubes à 3 francs	27 ,00
Pour le mètre de voie	121fr,15
Soit pour 1 mètre courant	20fr,20
Préparation, transport et pose, etc.	3 ,00
Prix de revient total	23fr,20

Les prix unitaires indiqués sont différents les uns des autres dans de grandes proportions, ils correspondent naturellement à des époques très diverses. Nous ne donnons les chiffres ci-dessus qu'à titre de simple indication.

ANNEXE T

Loi du 11 Juin 1880

Relative aux chemins de fer d'intérêt local et aux tramways

CHAPITRE PREMIER

CHEMIN DE FER D'INTÉRÊT LOCAL

ARTICLE PREMIER. — L'établissement des chemins de fer d'intérêt local par les départements ou par les communes. avec ou sans le concours des propriétaires intéressés, est soumis aux dispositions suivantes..

ART. 2. — S'il s'agit de chemins à établir par un département, sur le territoire d'une ou plusieurs communes, le conseil général arrête, après instruction préalable par le préfet et après enquête, la direction de ces chemins, le mode et les conditions de leur construction, ainsi que les traités et les dispositions nécessaires pour en assurer l'exploitation, en se conformant aux clauses et conditions du cahier des charges type approuvé par le Conseil d'État, sauf les modifications qui seraient apportées par la convention et la loi d'approbation.

Si la ligne doit s'étendre sur plusieurs départements, il y aura lieu à l'application des articles 89 et 90 de la loi du 10 août 1871.

S'il s'agit de chemins de fer d'intérêt local à établir par une commune sur son territoire, les attributions confiées au conseil général par le paragraphe 1er du présent article seront exercées par le conseil municipal dans les mêmes conditions et sans qu'il soit besoin de l'approbation du préfet.

Les projets de chemins de fer d'intérêt local départementaux ou communaux, ainsi arrêtés, sont soumis à l'examen du Conseil général des ponts

et chaussées et du Conseil d'État. Si le projet a été arrêté par un conseil municipal, il est accompagné de l'avis du conseil général.

L'utilité publique est déclarée et l'exécution est autorisée par une loi.

Art. 3. — L'autorisation obtenue, s'il s'agit d'un chemin de fer concédé par le conseil général, le préfet après avoir pris l'avis de l'ingénieur en chef du département, soumet les projets d'exécution au conseil général, qui statue définitivement.

Néanmoins, dans les deux mois qui suivent la délibération, le Ministre des travaux publics, sur la proposition du préfet, peut, après avoir pris l'avis du Conseil général des ponts et chaussées, appeler le conseil général du département à délibérer de nouveau sur lesdits projets.

Si la ligne doit s'étendre sur plusieurs départements, et s'il y a désaccord entre les conseils généraux, le Ministre statue.

S'il s'agit d'un chemin concédé par un conseil municipal, les attributions exercées par le conseil général aux termes du paragraphe 1er du présent article, appartiennent au conseil municipal, dont la délibération est soumise à l'approbation du préfet.

Si un chemin de fer d'intérêt local doit imprunter le sol d'une voie publique, les projets d'exécution sont précédés de l'enquête prévue par l'article 29 de la présente loi.

Dans ce cas sont également applicables les articles 34, 35, 37 et 38 ci-après.

Les projets de détail des ouvrages sont approuvés par le préfet, sur l'avis de l'ingénieur en chef.

Art. 4. — L'acte de concession détermine les droits de péage et les prix de transport que le concessionnaire est autorisé à percevoir pendant toute la durée de sa concession.

Art. 5. — Les taxes perçues dans les limites du maximum fixé par le cahier des charges sont homologuées par le Ministre des travaux publics, dans le cas où la ligne s'étend sur plusieurs départements, et dans le cas de tarifs communs à plusieurs lignes. Elles sont homologuées par le préfet dans les autres cas.

Art. 6. — L'autorité qui fait la concession a toujours le droit :

1° D'autoriser d'autres voies ferrées à s'embrancher sur des lignes concédées ou à s'y raccorder;

2° D'accorder à ces entreprises nouvelles, moyennant le payement des droits de péage fixés par le cahier des charges, la faculté de faire circuler leurs voitures sur les lignes concédées.

3° De racheter la concession aux conditions qni seront fixées par le cahier des charges.

4° De supprimer ou de modifier une partie du tracé lorsque la nécessité en aura été reconnue après enquête.

Dans ces deux derniers cas, si les droits du concessionnaire ne sont pas réglés par un accord préalable ou par un arbitrage établi soit par le cahier des charges, soit par une convention postérieure, l'indemnité qui peut lui être due est liquidée par une commission spéciale formée comme il est dit au paragraphe 3 de l'article 11 de la présente loi.

ART. 7. — Le cahier des charges détermine :

1° Les droits et les obligations du concessionnaire pendant la durée de la concession ;

2° Les droits et les obligations du concessionnaire à l'expiration de la concession ;

3° Les cas dans lesquels l'inexécution des conditions de la concession peut entrainer la déchéance du concessionnaire, ainsi que les mesures à prendre à l'égard du concessionnaire déchu.

La déchéance est prononcée, dans tous les cas, par le Ministre des travaux publics, sauf recours au Conseil d'Etat par la voie contentieuse.

ART. 8. — Aucune concession ne pourra faire obstacle à ce qu'il soit accordé des concessions concurrentes, à moins de stipulation contraire dans l'acte de concession.

ART. 9. — A l'expiration de la concession, le concédant est substitué à tous les droits du concessionnaire sur les voies ferrées qui doivent lui être remises en bon état d'entretien.

Le cahier des charges règle les droits et les obligations du concessionnaire en ce qui concerne les autres objets mobiliers ou immobiliers servant à l'exploitation de la voie ferrée.

ART. 10. — Toute cession totale ou partielle de la concession, la fusion des concessions ou des administrations, tout changement de concessionnaire, la substitution de l'exploitation directe à l'exploitation par concession, l'élévation des tarifs au-dessus du maximum fixé, ne pourront avoir lieu qu'en vertu d'un décret délibéré en Conseil d'État, rendu sur l'avis conforme du conseil général, s'il s'agit de lignes concédées par les départements, ou du conseil municipal, s'il s'agit de lignes concédées par les communes.

Les autres modifications qui pourront être faites par l'autorité qui a consenti la concession : s'il s'agit de lignes concédées par les départements, elles seront faites par le conseil général statuant conformément aux articles 48 et

49 de la loi du 10 août 1871 ; s'il s'agit de lignes concédées par les communes, elles seront faites par le conseil municipal, dont la délibération devra être approuvée par le préfet.

En cas de cession, l'inobservation des conditions qui précèdent entraîne la nullité et peut donner lieu à la déchéance.

Art. 11. — A toute époque, une voie ferrée peut être distraite du domaine public départemental ou communal et classée par une loi dans le domaine de l'État.

Dans ce cas, l'État est substitué aux droits et obligations du département ou de la commune, à l'égard des entrepreneurs ou concessionnaires, tels que ces droits ou obligations résultent des conventions légalement autorisées.

En cas d'éviction du concessionnaire, si ses droits ne sont pas réglés par un accord préalable ou par un arbitrage établi, soit par le cahier des charges, soit par une convention postérieure, l'indemnité qui peut lui être due est liquidée par une commission spéciale qui fonctionne dans les conditions réglées par la loi du 29 mai 1845. Cette commission sera instituée par un décret et composée de neuf membres, dont trois désignés par le Ministre des travaux publics, trois par le concessionnaire et trois par l'unanimité des six membres déjà désignés; faute par ceux-ci de s'entendre dans le mois de la notification à eux faite de leur nomination, le choix de ceux des trois membres qui n'auront pas été désignés à l'unanimité sera fait par le premier président et les présidents réunis de la Cour d'appel de Paris.

En cas de désaccord entre l'Etat, le département ou la commune, les indemnités ou dédommagements qui peuvent être dus par l'État sont déterminés par un décret délibéré en Conseil d'État.

Art. 12. — Les ressources créées en vertu de la loi du 21 mai 1836 peuvent être appliquées, en partie, à la dépense des voies ferrées, par les communes qui auront assuré l'exécution de leur réseau subventionné et l'entretien de tous les chemins classés.

Art. 13. — Lors de l'établissement d'un chemin de fer d'intérêt local, l'État peut s'engager,— en cas d'insuffisance du produit brut pour couvrir les dépenses de l'exploitation et cinq pour cent (5 p. %) par an du capital du premier établissement, tel qu'il a été prévu par l'acte de concession, augmenté, s'il y a lieu, des insuffisances constatées pendant la période assignée à la construction par ledit acte, — à subvenir pour partie au payement de cette insuffisance, à la condition qu'une partie au moins équivalente sera payée par le département ou par la commune, avec ou sans le concours des intéressés.

La subvention de l'État sera formée : 1° d'une somme fixe de cinq cents francs (500 fr.) par kilomètre exploité ; 2° du quart de la somme nécessaire pour élever la recette brute annuelle (impôts déduits) au chiffre de dix mille francs (10.000 fr.) par kilomètre pour les lignes établies de manière à recevoir les véhicules des grands réseaux ; huit mille francs (8.000 fr.) pour les lignes qui ne peuvent recevoir ces véhicules.

En aucun cas, la subvention de l'État ne pourra élever la recette brute au-dessus de dix mille cinq cents francs (10.500 fr.) et de 8.500 francs (8.500 fr.) suivant les cas, ni attribuer au capital de premier établissement plus de cinq pour cent (5 p. %) par an.

La participation de l'État sera suspendue quand la recette brute annuelle atteindra les limites ci-dessus fixées.

ART. 14. — La subvention de l'État ne peut être accordée que dans les limites fixées, pour chaque année, par la loi de finances.

La charge annuelle imposée au Trésor en exécution de la présente loi ne peut, en aucun cas, dépasser quatre cent mille francs (400.000 fr.) pour l'ensemble des lignes situées dans un même département.

ART. 15. — Dans le cas où le produit brut de la ligne pour laquelle une subvention a été payée devient suffisant pour couvrir les dépenses d'exploitation et six pour cent (6 p. %) par an du capital de premier établissement, tel qu'il est prévu par l'article 13, la moitié du surplus de la recette est partagée entre l'État, le département, ou, s'il y a lieu, la commune et les autres intéressés, dans la proportion des avances faites par chacun d'eux, jusqu'à concurrence du complet remboursement de ces avances, sans intérêts.

ART. 16. — Un règlement d'administration publique déterminera :

1° Les justifications à fournir par les concessionnaires pour établir les recettes et les dépenses annuelles ;

2° Les conditions dans lesquelles seront fixés, en exécution de la présente loi, le chiffre de la subvention due par l'État, le département ou les communes, et, lorsqu'il y aura lieu, la part revenant à l'État, au département, aux communes et aux intéressés, à titre de remboursement de leurs avances sur le produit net de l'exploitation.

ART. 17. — Les chemins de fer d'intérêt local qui reçoivent ou ont reçu une subvention du Trésor peuvent seuls être assujettis envers l'État à un service gratuit ou à une réduction du prix des places.

ART. 18. Aucune émission d'obligations, pour les entreprises prévues par la présente loi, ne pourra avoir lieu qu'en vertu d'une autorisation donnée par le Ministre des travaux publics, après avis du Ministre des finances.

Il ne pourra être émis d'obligations pour une somme supérieure au montant du capital-actions, qui sera fixé à la moitié au moins de la dépense jugée nécessaire pour le complet établissement et la mise en exploitation de la voie ferrée. Le capital-actions devra être effectivement versé, sans qu'il puisse être tenu compte des actions libérées ou à libérer autrement qu'en argent.

Aucune émission d'obligations ne doit être autorisée avant que les quatre cinquièmes du capital-actions aient été versés et employés en achat de terrains, approvisionnements sur place ou en dépôt de cautionnement.

Toutefois les concessionnaires pourront être autorisés à émettre des obligations, lorsque la totalité du capital-actions aura été versée, et s'il est dûment justifié que plus de la moitié de ce capital-actions a été employée dans les termes du paragraphe précédent; mais les fonds provenant de ces émissions anticipées devront être déposés à la caisse des dépôts et consignations et ne pourront être mis à la disposition des concessionnaires que sur l'autorisation formelle du Ministre des travaux publics.

Les dispositions des paragraphes 2, 3 et 4 du présent article ne seront pas applicables dans le cas où la concession serait faite à une Compagnie déjà concessionnaire d'autres chemins de fer en exploitation, si le Ministre des travaux publics reconnaît que les revenus nets de ces chemins sont suffisants pour assurer l'acquittement des charges résultant des obligations à émettre.

Art. 19. — Le compte rendu détaillé des résultats de l'exploitation, comprenant les dépenses d'établissement et d'exploitation et les recettes brutes, sera remis tous les trois mois, pour être publié au préfet, au président de la commission départementale et au Ministre des travaux publics.

Le modèle des documents à fournir sera arrêté par le Ministre des travaux publics.

Art. 20. — Par dérogation aux dispositions de la loi du 15 juillet 1845 sur la police des chemins de fer, le préfet peut dispenser de poser des clôtures sur tout ou partie de la voie ferrée; il peut également dispenser de poser des barrières au croisement des chemins peu fréquentés.

Art. 21. — La construction, l'entretien et les réparations des voies ferrées avec leurs dépendances, l'entretien du matériel et le service de l'exploitation sont soumis au contrôle et à la surveillance des préfets, sous l'autorité du Ministre des travaux publics.

Les frais de contrôle sont à la charge des concessionnaires. Ils sont réglés par le cahier des charges ou, à défaut, par le préfet, sur l'avis du conseil général, et approuvé par le Ministre des travaux publics.

Art. 22. — Les dispositions de l'article 20 de la présente loi sont éga-

lement applicables aux concessions de chemins de fer industriels destinés à desservir des exploitations particulières.

ART. 23. — Sur la proposition des conseils généraux ou municipaux intéressés, après adhésion des concessionnaires, la substitution, aux subventions en capital promises en exécution de l'article 5 de la loi de 1865, de la subvention en annuités stipulées par la présente loi, pourra, par décret délibéré en Conseil d'État, être autorisée en faveur des lignes d'intérêt local actuellement déclarées d'utilité publique et non encore exécutées.

Ces lignes seront soumises, dès lors, à toutes les obligations résultant de la présente loi.

Il n'y aura pas lieu de renouveler les concessions consenties ou les mesures d'instructions accomplies avant la promulgation de la présente loi, si toutes les formalités qu'elle prescrit ont été observées par avance.

ART. 24. — Toutes les conventions relatives aux concessions et rétrocessions de chemin de fer d'intérêt local, ainsi que les cahiers des charges annexés, ne seront passibles que du droit d'enregistrement fixe d'un franc.

ART. 25. — La loi du 12 juillet 1865 est abrogée.

CHAPITRE II

TRAMWAYS

ART. 26. — Il peut être établi, sur les voies dépendant du domaine public de l'État, des départements ou des communes, des tramways ou voies ferrées à traction de chevaux ou de moteurs mécaniques.

Ces voies ferrées, ainsi que les déviations accessoires construites en dehors du sol des routes et chemins et classées comme annexes, sont soumises aux dispositions suivantes :

ART. 27. — La concession est accordée par l'État lorsque la ligne doit être établie, en tout ou en partie, sur une voie dépendant du domaine public de l'État.

Cette concession est accordée par le conseil général, au nom du département, lorsque la voie ferrée, sans emprunter une route nationale, doit être établie, en tout ou en partie, soit sur une route départementale, soit sur un chemin de grande communication ou d'intérêt commun, ou doit s'étendre sur le territoire de plusieurs communes.

Si la ligne doit s'étendre sur plusieurs départements, il y aura lieu à l'application des articles 89 et 90 de la loi du 10 août 1871.

La concession est accordée par le conseil municipal, lorsque la voie ferrée est établie entièrement sur le territoire de la commune et sur un chemin vicinal ordinaire ou sur un chemin rural.

Art. 28. — Le département peut accorder la concession à l'État ou à une commune avec faculté de rétrocession ; une commune peut agir de même à l'égard de l'État ou du département.

Art. 29. — Aucune concession ne peut être faite qu'après une enquête dans les formes déterminées par un règlement d'administration publique et dans laquelle les conseils généraux des départements et les conseils municipaux des communes dont la voie doit traverser le territoire seront entendus, lorsqu'il ne leur appartiendra pas de statuer sur la concession.

L'utilité publique est déclarée et l'exécution est autorisée par décret délibéré en Conseil d'État, sur le rapport du Ministre des travaux publics, après avis du Ministre de l'intérieur.

Art. 30. — Toute dérogation ou modification apportée aux clauses du cahier des charges type, approuvé par le Conseil d'État, devra être expressément formulée dans les traités passés au sujet de la concession, lesquels seront soumis au Conseil d'État et annexés au décret.

Art. 31. — Lorsque, pour l'établissement d'un tramway, il y aura lieu à expropriation, soit pour l'élargissement d'un chemin vicinal, soit pour l'une des déviations prévues à l'article 26 de la présente loi, cette expropriation pourra être opérée conformément à l'article 10 de la loi du 21 mai 1836, sur les chemins vicinaux, et à l'article 2 de la loi du 8 juin 1864.

Art. 32. — Les projets d'exécution sont approuvés par le Ministre des travaux publics, lorsque la concession est accordée par l'Etat.

Les dispositions de l'article 3 sont applicables lorsque la concession est accordée par un département ou par une commune.

Art. 33. — Les taxes perçues dans les limites du maximum fixé par l'acte de concession sont homologuées par le Ministre des travaux publics, dans le cas où la concession est faite par l'État, et par le préfet dans les autres cas.

Art. 34. — Les concessionnaires de tramways ne sont pas soumis à l'impôt des prestations établi par l'article 3 de la loi du 21 mai 1836, à raison des voitures et des bêtes de trait exclusivement employées à l'exploitation du tramway.

Les départements ou les communes ne peuvent exiger des concessionnaires une redevance ou un droit de stationnement qui n'aurait pas été stipulé expressément dans l'acte de concession.

Art. 35. — A l'expiration de la concession, l'Administration peut exiger que les voies ferrées qu'elle avait concédées soient supprimées en tout ou en partie, et que les voies publiques et leurs déviations lui soient remises en état de viabilité aux frais du concessionnaire.

ART. 37. — Lors de l'établissement d'un tramway desservi par des locomotives et destiné au transport des marchandises en même temps qu'au transport des voyageurs, l'État peut s'engager, — en cas d'insuffisance du produit brut pour couvrir les dépenses d'exploitation et cinq pour cent (5 p. %) par an du capital d'établissement tel qu'il a été prévu par l'acte de concession et augmenté, s'il y a lieu, des insuffisances constatées pendant la période assignée à la construction par ledit acte, — à subvenir, pour partie, au payement de cette insuffisance, à condition qu'une partie au moins équivalente sera payée par le département ou par la commune avec ou sans le concours des intéressés.

La subvention de l'État sera formé : 1° d'une somme fixe de cinq cents francs (500 fr.) par kilomètre exploité; 2° du quart de la somme nécessaire pour élever la recette brute annuelle (impôts déduits) au chiffre de six mille francs (6 000 fr.) par kilomètre.

En aucun cas, la subvention de l'État ne pourra élever la recette brute au-dessus de six mille cinq cents francs (6.500 fr.), ni attribuer au capital de premier établissement plus de cinq pour cent (5 p. %) par an.

La participation de l'État sera suspendue de plein droit quand les recettes brutes annuelles atteindront la limite ci-dessus fixée.

ART. 37. — La loi du 15 juillet 1845, sur la police des chemins de fer, est applicable aux tramways, à l'exception des articles 4, 5, 6, 7, 8, 9 et 10.

ART. 38. — Un règlement d'administration publique déterminera les mesures nécessaires à l'exécution des dispositions qui précèdent et notamment :

1° Les conditions spéciales auxquelles doivent satisfaire, tant pour leur construction que pour la circulation des voitures et des trains, les voies ferrées dont l'établissement sur le sol des voies publiques aura été autorisé.

2° Les rapports entre le service de ces voies ferrées et les autres services intéressés.

ART. 39. — Sont applicables aux tramways les dispositions des articles 4, 6 à 12, 14 à 19, 21 et 24 de la présente loi.

La présente loi délibérée et adoptée par le Sénat et la Chambre des députés, sera exécutée comme loi de l'État.

Fait à Paris, le 11 juin 1880.

Par le Président de la République : JULES GRÉVY.
Le Ministre des travaux publics,
H. VARROY.

APPENDICE

Quand il s'agit de choisir un type de rail applicable à un nouveau chemin, on n'a souvent d'autre raison à donner que celle de l'imitation ou du sentiment.

Quelqu'ingénieur pouvant cependant être tenté de faire des recherches pour un cas particulier qu'il aurait à traiter, nous croyons utile de mettre à sa disposition sur ce sujet les considérations suivantes dues à un de nos camarades M. L. Barré, Ingénieur civil, ancien élève de l'École centrale des Arts et Manufactures, et qu'il a bien voulu nous autoriser à publier ici.

NOTE

Sur la résistance des solides soumis à la flexion.

Nous ne possédons que les lois de Navier pour calculer la résistance d'un solide soumis à des efforts perpendiculaires à sa direction.

Cette loi peut se résumer ainsi :

La résistance ou la charge est proportionnelle au quotient $\frac{1}{n}$ du moment d'inertie 1 du profil transversal du solide pris par rapport à une ligne horizontale passant par le centre de gravité de ce profil, divisé par n, qui est la demi-hauteur dans un profil symétrique, et, dans un profil non symétrique, la distance des fibres le plus tendues ou le plus comprimées à l'axe d'inertie.

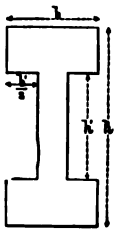
Cette loi seule ne suffit pas pour apprécier la résistance d'un solide soumis à la flexion, parce qu'elle n'apprend rien sur la meilleure forme à donner au profil. Il faut recourir à l'expérience pour obtenir des données à cet égard.

Malheureusement les expériences faites dans cet esprit sont rares ; les résultats d'expériences manquent totalement pour les fers laminés des diverses formes connues. De même encore des poutres en tôle, pour lesquelles on ne connaît pas les meilleures proportions à donner aux largeurs des tables et aux cornières, pour une distance voulue entre ces tables.

Les rails, qui sont aussi des barres laminées évidées, soumises à la flexion, présentent une telle divergence entre les profils adoptés, que souvent le caprice a une part aussi grande dans le tracé que des raisons plausibles.

La *similitude géométrique* [illegible] dans la question des solides soumis à la flex[illegible] ratiques que nous allons indiquer.

Rappelons les formules du moment d'inertie et de la résistance d'un *profil évidé symétrique*.



— Nous généraliserons plus loin pour des profils quelconques.

Soit donc un fer laminé, évidé comme le profil ci-contre, chargé uniformément.

La formule du moment d'inertie donne :

$$\frac{1}{n} = \frac{bh^3 - b'h'^3}{6h} \qquad (1)$$

et la charge uniforme étant $p\ l$, on a :

$$\frac{p\,l}{8} = \frac{\mathrm{R\,I}}{l\,n} \qquad (2)$$

Considérons un autre solide évidé de section semblable au précédent et de même portée l, on aura des formules analogues :

$$\frac{\mathrm{I}'}{n'} = \frac{b_1\,h^3_1 - b'_1\,h'^3_1}{6h_1} \qquad (3)$$

$$\frac{p'\,l}{8} = \frac{\mathrm{R\,I}'}{l\,n'} \qquad (4)$$

Les profils étant semblables, si l'on désigne par K le rapport de similitude, on aura :

$$\frac{h}{h_1} = \frac{h'}{h'_1} = \frac{b}{b_1} = \frac{b'}{b'_1} = \frac{n}{n'} = \mathrm{K};$$

$$\text{d'où } h_1 = \frac{h}{\mathrm{K}}\ h'_1 = \frac{h'}{\mathrm{K}}\quad b_1 = \frac{b}{\mathrm{K}}\quad b'_1 = \frac{b'}{\mathrm{K}}\quad n' = \frac{n}{\mathrm{K}}$$

par suite, la relation (3) donne :

$$\frac{\mathrm{I}'}{n'} = \frac{\frac{b}{\mathrm{K}} \times \frac{h^3}{\mathrm{K}^3} - \frac{b'}{\mathrm{K}} \times \frac{h'^3}{\mathrm{K}^3}}{6\,\frac{h}{\mathrm{K}}} = \frac{\frac{1}{\mathrm{K}^3}\,(bh^3 - b'h'^3)}{6\,h} \qquad (5)$$

et en prenant le rapport des relations (1) et (5), on obtient :

$$\left(\frac{\mathrm{I}}{n}\right) : \left(\frac{\mathrm{I}'}{n'}\right) = \mathrm{K}^3$$

les relations (2) et (4) donnent :

$$\frac{p\,l}{p'l} = \left(\frac{\mathrm{I}}{n}\right) : \left(\frac{\mathrm{I}'}{n'}\right) = \mathrm{K}^3 \qquad (6)$$

Ainsi les charges uniformes $p\ l$ et $p'l$ ont pour rapport le cube du rapport de similitude, pour une même portée l.

De là, il est facile de déduire la loi qui lie les résistances des deux solides, évidés à *sections semblables*, et leurs poids par mètre courant.

Les sections ou profils étant semblables, leurs aires sont proportionnelles au carré du rapport de similitude: par suite, les poids par mètre courant des deux solides suivent la même loi.

Ainsi, π et π' étant les poids par mètre de longueur des deux solides, on a :

$$\frac{\pi}{\pi'} = K^2 \qquad \text{d'où } K = \sqrt{\frac{\pi}{\pi'}}$$

or on a trouvé ci-dessus (6) :

$$\frac{p\,l}{p'l} = K^3 = K^2\,K = \frac{\pi}{\pi'}\sqrt{\frac{\pi}{\pi'}}$$

d'où en élevant au carré, il vient :

$$\frac{(p\ l)^2}{(p'\,l)^2} = \frac{\pi^3}{\pi'^3}$$

donc enfin, les carrés de résistance et les carrés des charges totales sont proportionnelles aux cubes des poids des solides par mètre courant, en admettant, comme il a été dit, une portée égale. Si l'on prend la portée $l = 1$ mètre, la loi précédente devient :

Pour deux solides évidés, à sections semblables, les carrés des charges par mètre de longueur sont proportionnels aux cubes des poids des solides par mètre de longueur.

Ainsi, les poids des solides soumis à la flexion étant proportionnels aux nombres :

1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10.

leurs cubes sont proportionnels aux nombres :

1, 8, 27, 64, 125, 226, 343, 512, 729, 1000.

et les résistances correspondantes seront proportionnelles aux racines :

1; 2. 8; 5, 19; 8; 11, 2; 14, 7; 18, 5; 22, 6; 27; 31, 6.

Cas des écartements de supports proportionnels au rapport de similitude K.

Si l'on donne aux solides évidés semblables des écartements de supports l et l' qui soient dans le même rapport K, que les dimensions homologues de ces

mêmes solides, on reconnaîtra facilement que les résistances ou charges totales sont proportionnelles aux poids par mètre courant des solides.

En effet, on a les formules générales :

$$\frac{p\,l}{8} = \frac{\mathrm{RI}}{l\,n} \quad \text{et} \quad \frac{p'\,l'}{8} = \frac{\mathrm{R\,I'}}{l'\,n'}$$

par suite :

$$\frac{p\,l}{p'l} = \frac{\frac{\mathrm{I}}{n}}{\frac{\mathrm{I'}}{n'}} \times \frac{l'}{l}$$

Or, nous avons trouvé plus haut :

$$\left(\frac{\mathrm{I}}{n}\right) : \left(\frac{\mathrm{I'}}{n'}\right) = \mathrm{K}^3$$

donc :

$$\frac{pl}{p'l'} = \mathrm{K}^3\,\frac{l}{l'} \quad \text{mais on a } \frac{l'}{l} = \frac{1}{\mathrm{K}};$$

donc :

$$\frac{pl}{p'l'} = \frac{\mathrm{K}^3}{\mathrm{K}} = \mathrm{K}^2 \qquad \text{(A)}$$

Pour exprimer la loi en fonction des poids π et π' par mètre courant des solides, il suffit de remarquer que leurs sections transversales étant semblables, leur rapport est égal au carré du rapport de similitude, et qu'il en est de même pour les poids π et π' ; c'est-à-dire :

$$\frac{\pi}{\pi'} = \mathrm{K}^2 \qquad \text{(B)}$$

Donc les relations (A) et (B) donnent :

$$\frac{pl}{p'l'} = \frac{\pi}{\pi'}, \qquad \text{(C)}$$

Ainsi les charges totales uniformes répondant à deux portées l et l' sont proportionnelles aux poids mêmes des solides par mètre courant.

Remarque. — Si dans la formule (C) on veut réduire la charge uniforme à l'unité de longueur, on pourra écrire le résultat sous la forme :

$$\frac{p}{p'} = \left(\frac{\pi}{\pi'}\right)\left(\frac{l'}{l}\right)$$

c'est-à-dire que la charge par mètre courant de longueur est proportionnelle à l'écartement des supports.

Généralisation et résumé — Ce qui précède a été établi pour des profils symétriques, mais les calculs restent les mêmes pour des profils non symétriques, mais semblables, on pourra donc appliquer les résultats obtenus non seulement à des fers laminés à planchers, à des poutres en tôle, mais aussi à des rails.

Ainsi, pour deux rails à profils semblables reposant sur des appuis équidistants, les résistances ou charges totales sont telles que les carrés de ces charges sont proportionnels aux cubes des poids par mètre courant de ces rails.

Si, dans deux systèmes de rails semblables, les écartements sont proportionnels au rapport de similitude, les résistances sont proportionnelles aux poids par mètre courant de rails.

Il faut bien noter que les lois simples que nous mentionnons doivent être considérées seulement comme une approximation puisqu'elles supposent une charge permanente immobile, tandis que par rapport aux rails, il serait nécessaire de considérer une charge en mouvement et de tenir compte des diverses vitesses pratiques et des vibrations.

Dans l'état actuel de nos connaissances, nous croyons que les lois simples indiquées ci-dessus peuvent servir utilement de guide dans la comparaison de systèmes semblables et très analogues.

2e FASCICULE

TABLE DES MATIÈRES

CHAPITRE VI

Matériel de la Voie

§ I. — Ballast.

Nos		Pages
151. —	Nature du ballast.	353
152. —	Approvisionnement du ballast.	356
	Dépôts sur la voie.	357

§ II. — Supports des rails.

153. —	Dés en pierre.	358
	Prix de revient de la voie sur dés en pierre.	360
154. —	Traverses en bois.	360
	Essences.	360
	Défauts des bois.	360
	Réparation des traverses avariées.	360
155. —	Formes des traverses en bois	364
156. —	Dimensions des traverses en bois.	368
157. —	Mesurage des traverses.	368
	Carnet de réception.	369
	Divers modes de cubage.	370
	Barêmes.	371
158. —	Réception.	372
159. —	Empilage.	375
160. —	Supports métalliques.	377

§ III. — Rails.

161. —	Conditions générales.	378
162. —	Forme des rails.	380
	Choix d'un type de rail	381
	Dimensions transversales des rails.	384
	Formes du champignon, du patin.	385
	Inclinaison de l'éclissage.	387
163. —	Longueur des rails.	389
164. —	Usure des rails.	391
165. —	Généralités sur la fabrication des rails.	393
166. —	Choix du métal à rails.	393
167. —	Fabrication des rails.	395
	Conditions de fabrication des rails en fer.	395

Nos Pages
168. — Rails en acier. 402
169. — Rails soudés en acier puddlé 402
170. — Rails massifs en acier fondu 403
171. — Rails massifs en fonte affinée 404
Procédé Bessemer. 405
Emploi du spectroscope. 406
Modification du procédé. 407
172. — Affinage des fontes impures 408
Procédé Nistrom, Galy-Cazalat, Bérard. 408
Procédés Parry, Martin. 409
Procédés Heaton, Bessemer, Gjerss, Thomas-Gilchrist, Martin-Siemens. 411
173. — Rails mixtes. 413
Rails à couverte cémentée. 413
Rails à couverte d'ac. soudée. 414
Rails à couverte d'acier rapportée
174. — Classement des aciers. 416
175. — Conclusion. 418
176. — Ajustage des rails. 419
Longueur des barres. 419
Marques et dates. 419
Coupage. 420
Dressage. 420
Perçage et entaillage. 421
177. — Surveillance, épreuves et réception provisoire. 421
Épreuves à la pression et au choc. 422
Machine à levier. 425
Presse hydraulique. 426
Mouton. 428
Gabarits. 429
Poids. 429
178. — Garantie. 430
179. — Observations générales. 431
Précautions. 431

§ IV. — Attaches des rails.

180. — Coussinets en fonte, formes et dimensions. 433
181. — Fabrication des coussinets. 436
Modèles. 436
Qualité de la fonte. 436
182. — Épreuves. 437
Épreuve au choc. 438
Épreuve à la traction. 438
Épreuve à la flexion. 439
Appareil de Monge. 439
183. — Réception. 441
Garantie. 441
184. — Observations générales. 441
185. — Coins. 442
Formes. 442
Qualité du bois. 443
Fabrication. 443
Coins métalliques. 443
Réception. 444
Observation. 444
186. — Eclisses. 445
Joints supportés. 445
Joints en porte-à-faux, 446
Moyens préventifs contre le desserrage des boulons. 449
187. — Eclisses-cornières. 451
Moyens préventifs contre le cheminement des rails. 451
188. — Coussinets — Éclisses. 453
189. — Selles ou platines. 455
Dimensions. 456
Observation. 457
190. — Fabrication des pièces d'éclissage. 457
191. — Épreuves. 459
192. — Réception. 461
Garantie. 462
193. — Chevillettes. 462
Clous barbelés. 463
194. — Clous à vis et tire-fond. 463
195. — Fabrication des tire-fonds. 465
Galvanisation. 466
196. — Boulons. 467
197. — Boulons d'éclisses. 468
Boulons Linet. 468
198. — Crampons. 468
199. — Bagues Desbrières. 470
200. — Conditions de fabrication. 470
201. — Réception. 471
Vérification. 471
Garantie. 472
Poids. 472
Expédition. 472
Modifications. 473

CHAPITRE VII

Préparation. — Pose et entretien de la voie

§ I. — Conservation des bois.

Nos Pages
202. — Généralités. 475
Historique. 477
203. — Matières antiseptiques. 479
204. — Classement des procédés de conservation. 482
205. — Injection par circulation vasculaire. Procédé Boucherie. 483
206. — Préparation des poteaux du télégraphe électrique. 487
Procédé Bernard-Perrin. 489
207. — Procédé par imbibition à l'air libre. 490
208. — Procédé par immersion à froid. 490
209. — Méthode par immersion à chaud. 491
210. — Injection en vase clos sous pression. 492
211. — Installation d'un chantier d'injection. 494
Appareil locomobile. 495
612. — Conditions de fabrication et de réception des traverses préparées en vase clos. 498
Injection au sulfate de cuivre.
Injection à la créosote. 499
213. — Carbonisation superficielle. 502
Appareil Hugon. 503
Appareil Ravazé. 505
214. — Résultats statistiques de l'emploi des traverses. 506
215. — Essais comparatifs sur la durée des traverses. 507
216. — Etude économique de l'application des procédés de conservation des traverses. 510
217. — Prix de revient des procédés de conservation des traverses. 512

§ II. — Préparation des traverses.

218. — Sabotage des traverses 513
219. — Perçage des traverses à coussinets. 515
220. — Entaillage des traverses pour voies vignoles. 516
221. — Machines à entailler les traverses. Rabotteuse. 518
Prix de revient du rabottage des traverses. 519
222. — Perçage des traverses pour voies vignoles. 520
223. — Réemploi des vieilles traverses. 521
224. — Vérification et réceptions. 522

§. III. — Préparation des rails et atiaches.

225. — Dressement et courbage des rails. 524
226. — Perçage des trous de boulons. Fabrication des poinçons. Prix de revient du perçage. 527
227. — Encochage. 530
228. — Chanfreinage. 531
229. — Préparation des attaches, selles, coussinets, etc. 531
230. — Observation sur le coltinage des matériaux. 532

§ IV. — Pose de la voie.

Nos		Pages
231.	— Piquetage.	532
232.	— Ballastage.	533
233.	— Ballastage d'une ligne à simple voie.	533
234.	— Ballastage d'une ligne à deux voies.	534
235.	— Ballastage avec les matériaux de la voie définitive	534
236.	— Répartition des traverses.	535
	Rails à coussinet, rails vignoles.	
237.	— Largeur des joints.	539
238.	— Voie dans les courbes.	540
	Proportion des rails courts.	542
239.	— Surhaussement du rail extérieur ou dévers.	544
240.	— Raccordement des alignements : 1° en élévation, 2° en plan.	553
241.	— Mode d'application du dévers.	555
242.	— Élargissement de la voie.	557
243.	— Changements d'inclinaison.	560
244.	— Moyens préventifs contre les dérangements de la voie.	561
	Glissement longitudinal des rails.	561
	Déplacem. latéral de la voie.	562
	Déplacement latéral des rails.	563
	Inclinaison des rails.	564
	Rétrécissement de la voie.	564
245.	— Pose de la voie en rails à deux champignons.	565
246.	— Bourrage des traverses.	568
247.	— Emploi du coussinet-éclisse	569
248.	— Pose de la voie vignoles.	570
259.	— Pose de la voie des passages à niveau.	575
250.	— Rencontre des ouvrages d'art.	579

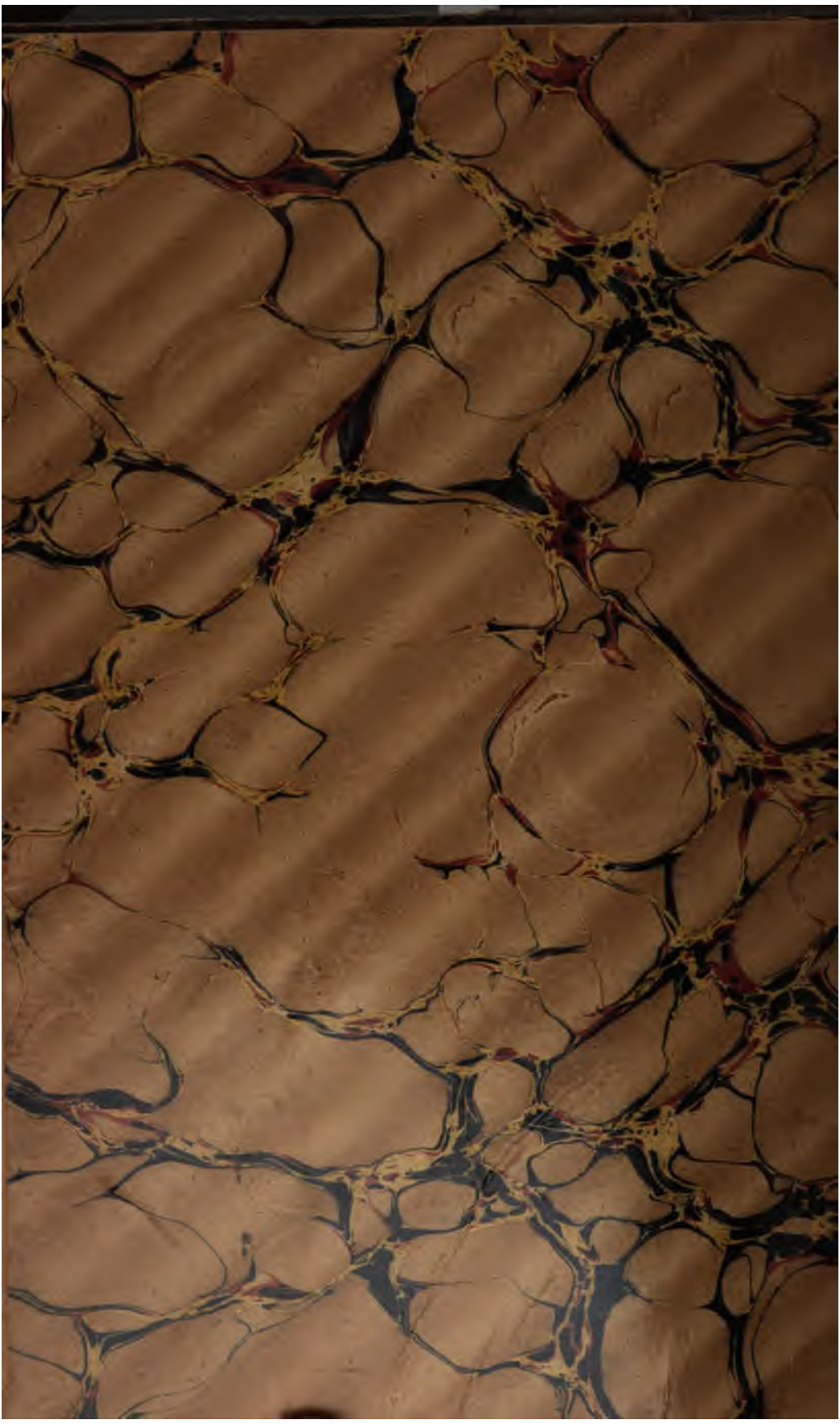
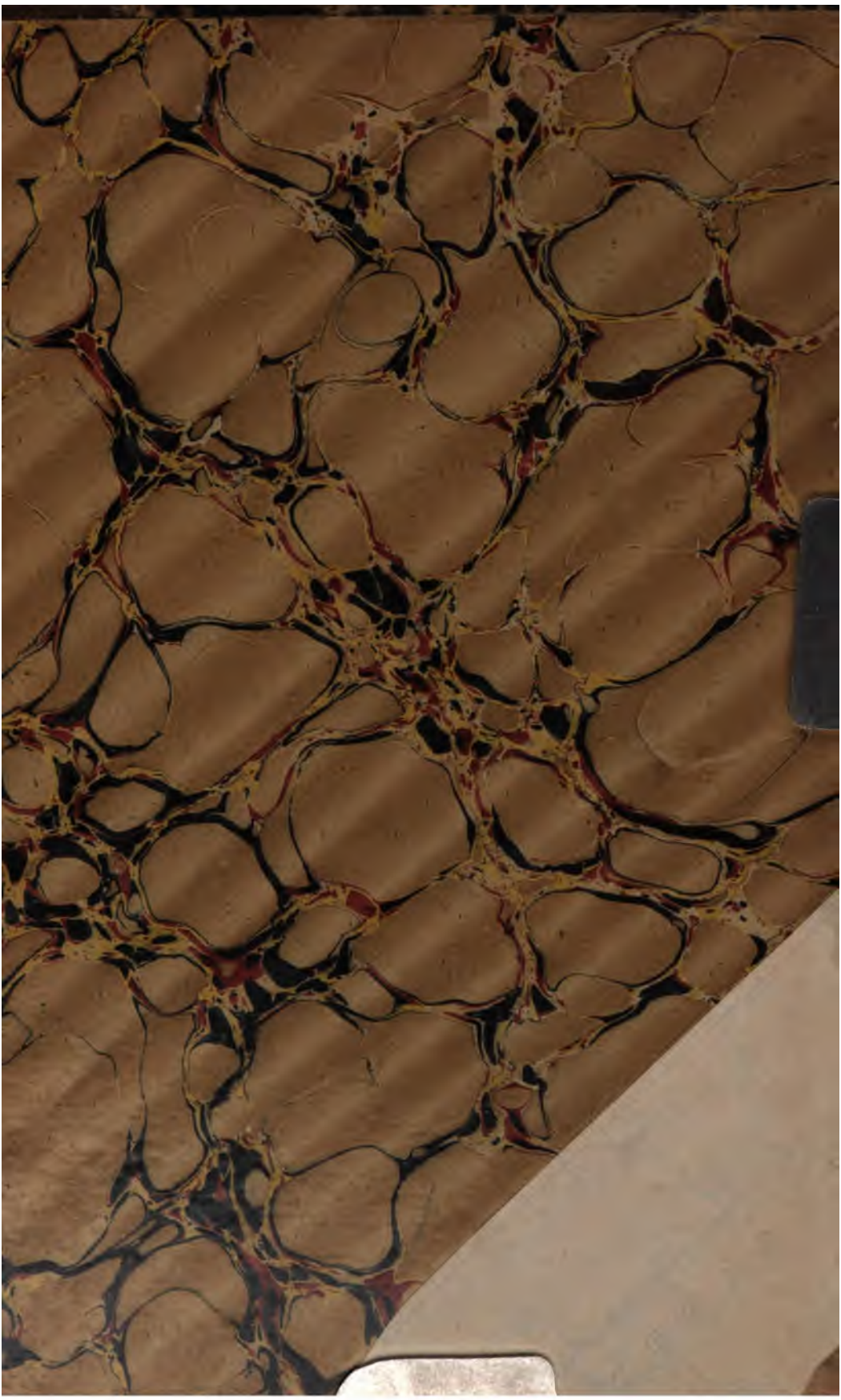
§ V. — Entretien et Réfection.

251.	— Entretien du ballast.	580
	Frais de renouvellement du ballast.	881
252.	— Entretien des traverses.	582
	Dévers des traverses.	583
253.	— Entretien des attaches : Chevillettes, crampons, tirefond, coins, marche des rails, coussinets en fonte, éclisses, selles, boulons, influence du sulfate de cuivre sur le fer.	584
254.	— Entretien des rails.	589
	Division des joints.	589
	Usure des rails.	590
255.	— Bris des rails.	592
	Remplacement des rails.	593
256.	— Redressement de la voie.	594
	Relevage partiel et ripage.	594
	Relevage en grand.	594
257.	— Entretien des passages à niveau.	595
258.	— Entretien de la voie en hiver. Neige. Renseignements météorologiques.	596
259.	— Réfection des voies. Réfection pendant la circulation des trains.	602
	Dépenses et prix de revient.	606
	Réfection pendant la suspension de la circulation des trains. Dépense et prix de revient.	609
260.	— Restauration et emploi des rails avariés.	616
261.	— Observation sur les différents modes de procéder à la pose de la voie.	617

ANNEXES

A. — Comparaison des mesures françaises et étrangères. 619
B. — Instructions pour la rédaction des projets. 622
C. — Note sur la nature des contrats à passer pour l'exécution des travaux. 632
D. — Programme d'un cahier des charges pour l'exécution des travaux de terrassements et ouvrages d'art. 634
E. — Spécifications d'ouvrages d'art. 652
F. — Ponts métalliques. 660
G — Programme d'un cahier des charges pour la fourniture, le transport, la pose et l'entretien des clôtures vives et sèches. 666
H. — Programme d'un cahier des charges pour la fourniture de traverses en bois de chêne ou en bois préparé. 672
I. — Programme d'un cahier des charges pour la fourniture de traverses en acier. 674
K. — Programme d'un cahier des charges pour la fourniture des rails en acier. 675
L. — Programme d'un cahier des charges pour la fourniture de coussinets en fonte, éclisses, etc. 677
M. — Programme d'un cahier des charges pour le ballastage et la pose de la voie 679
N. — Étude sur l'établissement des formules de transport. 683
O. — Type de série de prix. — Terrassements et ouvrages d'art.
P. — Type d'ordre de service et d'instructions réglant le travail de réfection de la voie. 713
Q. — Prix et poids des principaux outils employés à la pose et à l'entretien des voies en rails vignoles. 719
R. — État des encombrements de neige. 721
S. — Détails sur l'établisssement du prix de revient de la voie. 722
T. — Loi du 11 juin 1880. 729

APPENDICE. 738

PARIS. — IMPRIMERIE E. BERNARD ET Cie

23, RUE DES GRANDS-AUGUSTINS, 23